

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖTEKTİK ÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRİN İÇYAPI,
AŞINMA VE DARBE DİRENCİ ÖZELLİKLERİNE ‘TİBAİ’ İN ETKİSİ**

Erhan KERKÜT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Yöneticisi
Prof.Dr. Mustafa AKSOY**

ELAZIĞ 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖTEKTİK ÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRİN İÇYAPI, AŞINMA VE
DARBE DİRENCİ ÖZELLİKLERİNE ‘TİBAİ’ İN ETKİSİ

Erhan KERKÜT

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof.Dr. Mustafa AKSOY

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında değerli bilgilerinden faydalandığım, Prof.Dr. Mustafa AKSOY Hocam'a, ayrıca çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını gördüğüm Dç.Dr. Osman YILMAZ Hocam'a ve tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Benden destek ve yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca benden bir an olsun desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Erhan KERKÜT

Elazığ – 2008

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1.GİRİŞ.....	1
2. DÖKME DEMİRLER.....	2
2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	2
2.1.1 Beyaz Dökme Demir.....	3
2.1.2 Gri Dökme Demir.....	3
2.1.3 Temper Dökme Demir.....	4
2.1.4 Küre Grafitli Dökme Demir (KGDD).....	4
2.1.5 Yüksek Alaşımlı Dökme Demirler.....	4
3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER.....	5
3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri.....	6
3.1.1. Fiziksel Özellikler.....	6
3.1.2. Mekanik Özellikler.....	6
3.1.3. Manyetik Özellikler.....	8
3.1.4. Mikroyapı.....	8
3.1.4.1. Karbürler.....	10
3.1.4.2. Matris.....	12
3.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları.....	15
3.3. Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi.....	16
3.3.1. Karbon.....	17
3.3.2 Krom.....	18
3.3.3. Molibden.....	19
3.3.4. Silisyum.....	20
3.3.5. Bakır.....	21
3.3.6. Fosfor.....	21
3.3.7. Kükürt.....	21
3.3.8. Mangan.....	21
3.3.9. Nikel.....	22
3.3.10. Bor.....	22
3.3.11. Niyobyum.....	22
3.3.12. Vanadyum.....	22
3.3.13.Titanyum.....	22

3.3.14. Nadir Toprak Elementleri.....	24
4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILISMA VE ISIL İŞLEM.....	25
4.1. Ergitme ve Döküm.....	25
4.2. Fe – C – Cr Sistemi.....	27
4.3. Fe-C-Cr Sistemi Katı Durum Denge Diyagramı.....	28
4.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerinin Katılaşma Yapısı.....	34
4.5. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri.....	35
4.6. M_3C Karbürlerinin Özellikleri	38
4.7. M_2C (Mo_2C) Karbürlerinin Özellikleri.....	38
4.8. MC Karbürlerinin Özellikleri.....	39
4.9. Fe – C – Cr Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı.....	40
4.9.1. Fe – C – Cr Alaşımlarının Katı Hal Reaksiyonları.....	41
4.9.2. M_7C_3 – Östenit Ötektiğinin Oluşumu.....	42
4.9.3. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu.....	43
4.10. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Isıl İşlemi.....	43
4.10.1. Su Verme Sıcaklığı.....	44
4.10.2. Martenzit Dönüşümü.....	47
4.10.3. Tavlama ve Temperleme.....	48
5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ.....	50
5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı.....	50
5.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri.....	51
5.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma.....	52
5.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	54
5.4.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi.....	54
5.4.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi.....	55
6. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ	56
7. DENEY ÇALIŞMALARI.....	58
7.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	58
7.2 Isıl İşlemler	59
7.3 Metalografik Çalışmalar.....	59
7.4 Sertlik Deneyleri.....	59
7.5 Aşınma Deneyleri.....	59
7.6. Çentik Darbe Deneyi	60
8. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	61
8.1. Metalografi Sonuçları.....	61
8.2 Sertlik Deney Sonuçları.....	92

8.3. Aşınma Deneyi Sonuçları	94
8.4. Darbe Testi Sonuçları.....	102
9. GENEL SONUÇLAR.....	106
10. KAYNAKLAR.....	107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik aralıkları.....	3
Şekil 3.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal olarak arttığını gösteren grafik.....	10
Şekil 3.2. Karbür oranının abrasiv aşınma kaybına etkisi.....	11
Şekil 3.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki.....	11
Şekil 3.4. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a). Östenit [26] ve (c). Martenzit [23], matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları.....	12
Şekil 3.5. Kalıntı östenit yüzdesi ile aşınma direnci arasındaki ilişki[10].....	13
Şekil 3.6. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi.....	13
Şekil 3.7. Yüksek kromlu dökme demirlerde karışık matris yapıları.....	15
Şekil 3.8. Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi.....	17
Şekil 3.9. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları arasındaki temperleme aralığı.....	17
Şekil 3.10. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde C' un aşınma direncine etkisi.....	18
Şekil 3.11. Farklı bileşimlerdeki krom karbürlerin mikro yapı fotoğrafları.....	18
Şekil 3.12. Sertlik ölçümünün yeri ve Cr miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim.....	19
Şekil 3.13. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Mo' nin aşınma direncine etkisi.....	20
Şekil 3.14. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Si' un aşınma direncine etkisi.....	20
Şekil 3.15. Östenit matris içerisindeki TiC' ün farklı büyütmelerdeki resimleri	23
Şekil 3.16. TiC' lerin bir araya toplanması sonucu karbür şeklinin değişimi.....	23
Şekil 3.17. Farklı oranlardaki Ti' un mikro yapıya etkisi.....	24
Şekil 4.1. % 12 – 16 Cr, % 19 – 21 Cr içeren beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının karbon içeriğine göre değişimi[6].....	26
Şekil 4.2. Fe – C – Cr sistemi[11].....	27
Şekil 4.3. Fe-C-Cr sisteminin Fe-C-Cr 1000°C deki katı durum izotermi.	29
Şekil 4.4. Fe-C-Cr sisteminin 870°C deki katı durum izotermi[5].....	30
Şekil 4.5. Fe-C-Cr sisteminin 700°C deki katı durum izotermi.....	31
Şekil 4.6. Fe-C-Cr sisteminde Fe köşesinde 1150 °C - 900 °C izotermi	32
Şekil 4.7 Ötektik karbürün mikro yapı fotoğrafı.....	34
Şekil 4.8..M ₇ C ₃ karbürlerinin çubuğa benzer (a) ve bıçağa benzer(b) mikro yapı fotoğrafları.....	35
Şekil 4.9. M ₇ C ₃ Karbürünün tahmin edilen Cr içeriği ve Fe' in Cr/C oranı arasındaki ilişki.....	36
Şekil 4.10. M ₇ C ₃ karbürünün ötektik altı(a), ötektik (b) ve ötektik üstü (c) yapılarındaki resimleri	37
Şekil 4.11. M ₃ C karbürünün büyütülmüş yapısı	38
Şekil 4.12. M ₂ C karbürünün mikro yapı fotoğrafı	39
Şekil 4.13. Fe-C-Cr alaşımlarının ZSD diyagramı a.) döküm durumu b.) yeniden östenitleme işleminin sonraki durumu.....	40

Şekil 4.14. Fe – C – Cr alaşımlarında ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik (HV) ve kalıntı ostenit (γ) oranının değişimi	42
Şekil 4.15. Çeşitli kesitlerdeki yüksek kromlu demirlerde havada su vermeden sonra matris yapısına ve sertlik üzerine karbon ve molibden içeriğinin etkisi.....	45
Şekil 4.16. Çeşitli kesitlerdeki yüksek kromlu demirlerde havada su vermeden sonra matris yapısına ve sertlik üzerine karbon ve molibden içeriğinin etkisi.....	46
Şekil 4.17. Homojenleştirme ısı işleminin süresinin etkisi ve oda sıcaklığına soğuma üzerinde kalıntı östenit miktarında başlangıç matris yapısı.....	46
Şekil 4.18. Karbür çökelme oranı- M_s -Sertlik ilişkileri.....	47
Şekil 4.19. Çeşitli yüksek kromlu beyaz dökme demirler için sertlik (HV30) - temperleme sıcaklık eğrileri.....	49
Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test yöntemleri.....	51
Şekil 6.1. Darbe tokluğu üzerinde döküm süper ısıtmanın etkisini gösteren 5x5x18cm boyutlarındaki döküm çubuklarının darbe tokluğu verileri	56
Şekil 6.2. Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki	57
Şekil 7.1 Aşınma deney düzeneği.....	60
Şekil 8.1. N1 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	62
Şekil 8.2. N2 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	63
Şekil 8.3. N3 numunesi, , a) 10x15 b)SEM x5000.....	64
Şekil 8.4. N4 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	66
Şekil 8.5. N5 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	67
Şekil 8.6. A6 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	68
Şekil 8.7. N7 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	70
Şekil 8.8. N8 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	71
Şekil 8.9. N9 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	72
Şekil 8.10. N10 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	73
Şekil 8.11. N11 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	74
Şekil 8.12. N12 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	75
Şekil 8.13. N13 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	77
Şekil 8.14. N14 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	78
Şekil 8.15. N15 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	79
Şekil 8.16. N16 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	80
Şekil 8.17. N17 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	81
Şekil 8.18. N18 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	82
Şekil 8.19. N19 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	83
Şekil 8.20. N20 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	84
Şekil 8.21. N21 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	85
Şekil 8.22. N22 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	87

Şekil 8.23. N23 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	88
Şekil 8.24. N24 numunesi, a) 10x15 b)SEM x5000.....	89
Şekil 8.25 % 3 TiBAI Takviyeli Isıl işlemsiz Numunenin Renkli SEM Fotoğrafı	91
Şekil 8.26. Birinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,	94
Şekil 8.27. İkinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,	95
Şekil 8.28. Üçüncü Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,.....	95
Şekil 8.29. Dördüncü Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,.....	96
Şekil 8.30. Beşinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,.....	97
Şekil 8.31. Altıncı Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,	97
Şekil 8.32. Yedinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,	98
Şekil 8.33. Sekizinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları,.....	98
Şekil 8.34. a) TiBAI nin molibden içeren numunelerin aşınma miktarları üzerindeki etkisi, b) TiBAI nin molibdensiz numunelerin aşınma miktarları üzerindeki etkisi.....	100
Şekil 8.35. Aşınma deneyi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri. (a) N 24 (b)N4.....	101
Şekil 8.36 (a) 5 nolu darbe numunesinin SEM görüntüsü (b) 9 nolu darbe numunesinin SEM Görüntüsü	104
Şekil 8.37 (a) 17 numaralı darbe numunesinin SEM görüntüsü (b) 21 numaralı darbe numunesinin SEM görüntüsü.....	105

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Tipik Olarak Alaşımlandırılmamış Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyon Aralıkları.....	2
Tablo 3.1. Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri.....	5
Tablo 3.2. 25 – 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri....	7
Tablo 3.3. Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri.....	8
Tablo 3.4. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin Sertlikleri	10
Tablo 3.5. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi[6].....	14
Tablo 4.1. Ticari amaçla geliştirilen yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin bileşimleri.....	25
Tablo 4.2. Fe – C – Cr sisteminin sıvılaşma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar.....	28
Tablo 4.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikro yapısında bulunan fazlar ve kafes Parametreleri.....	28
Tablo 4.4. 870 °C’ deki üçgen bağıntıları (Woodyatt ve Kraus, 1976).....	33
Tablo 4.5. Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerin ısıtma işlem şartları.....	48
Tablo 5.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansı.....	52
Tablo 7.1. Numunelerin kimyasal kompozisyonları.....	58
Tablo 8.1 N1 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri	62
Tablo 8.2 N2 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri	63
Tablo 8.3 N3 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	64
Tablo 8.4 N4 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	66
Tablo 8.5 N5 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	67
Tablo 8.6 N6 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	68
Tablo 8.7 N7 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	70
Tablo 8.8 N8 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	71
Tablo 8.9 N9 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	72
Tablo 8.10 N10 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	73
Tablo 8.11 N11 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	74
Tablo 8.12 N12 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	75
Tablo 8.13 N13 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	77
Tablo 8.14 N14 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	78
Tablo 8.15 N15 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	79
Tablo 8.16 N16 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	80
Tablo 8.17 N17 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	81

Tablo 8.18 N18 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	82
Tablo 8.19 N19 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	83
Tablo 8.20 N20 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	84
Tablo 8.21 N21 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	85
Tablo 8.22 N22 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	87
Tablo 8.23 N23 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	88
Tablo 8.24 N24 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri.....	89
Tablo 8.25. Sertlik Değerleri.....	93
Tablo 8.26. Numunelerin Darbe test sonrası enerji emme özellikleri.....	103

ÖZET

Yüksek Lisans Projesi

ÖTEKTİK ÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRİN İÇYAPI, AŞINMA VE DARBE DİRENCİ ÖZELLİKLERİNE ‘TiBAI’ İN ETKİSİ

Erhan KERKÜT

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mühendislik Fakültesi - Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

2008 Sayfa: 109

Bu çalışmada iki farklı kompozisyondaki ötektik üstü yüksek kromlu beyaz dökme demirin içyapı ve mekanik özelliklerine TiBAI aşıl原因ıcı ve ısıt işlemin etkileri incelenmiştir. Numuneler %4.21 C , %17,2 Cr, %2.51 Mo ve %4.22C, %23.9Cr olmak üzere iki farklı kompozisyonda üretilmiştir. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve taramalı elektron mikroskoplarında yapılmıştır. Faz ve karbürlerin tayini için matris ve karbürlerden analizler alınmıştır. Aşınma deneylerinde üç farklı yük (10N, 20N ve 30N) kullanılmıştır. Deney 10X10 mm lik sabit yüzey alanına sahip numunelere uygulanmıştır. Aşındırıcı olarak 180 mm çapındaki taşlama taşı kullanılmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları deney esnasında 10^{-5} hassasiyetli terazide tartılarak tepsi edilmiştir. Sertlik deneyinde numunelerin her birinden en az üç ölçüm alınmış ve ortalama değerleri tespiti edilmiştir. Darbe deneyinde 10X10X50 mm boyutlarında V-çentikli numuneler hazırlanmıştır. Numunelerden elde edilen sonuçlar Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarındaki Darbe Deney cihazında tespit edilmiştir. Numuneler sabit sıcaklıkta (1000 °C) 1 ve 2 saat olmak üzere iki farklı ısıt işleme tabi tutulmuştur. Sonuç olarak farklı iki kompozisyona sahip numunelere uygulanan farklı orandaki aşıl原因ıcı ve ısıt işlemler sonucunda en iyi aşınma direncini %1TiBAI ilave edilmiş Mo içerikli ısıt işlem görmemiş numune verirken, en kötü aşınma direncini %3 TiBAI ilave edilmiş Mo içermeyen 2 saat ısıt işlemleri numune vermiştir.

Anahtar kelimeler: Ötektik Üstü Yüksek kromlu Beyaz Dökme Demirler, Aşıl原因ama, Aşınma direnci.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF ‘TiBAI’ ON MICROSTRUCTURE, WEAR AND NOTCH TOUGHNESS OF HYPEROTECTIC HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRONS

Erhan KERKÜT

Fırat University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Metallurgical and Material Engineering Science

2008, Page: 109

In this study the effects of TiBAI inoculants and heat treatments on microstructure and mechanical properties of hypereutectic high chromium white cast irons having two different chemical concentrations were studied. The samples having 4.21% C , 17.2% Cr, 2.51% Mo and 4.22% C, 23.9% Cr were produced in two different chemical concentration. The microstructures of the samples were investigated by optical microscope and Scanning Electron microscopy (SEM). The chemical concentration of matrix and carbides were determined by EDS to detect the type of carbides and matrix. Three different loads (10N, 20N and 30N) were used on a wear surface having 10X10 mm area during abrasive wear tests. The weight loss of samples was obtained by using a balance having 10^{-5} gr sensitivity. The surface hardness of the samples was measured as HRC and average of three measurements. The toughness of the samples having the sizes of 10X10X50 mm was evaluated by using Charpy V-notch specimens. The heat treatments were applied to the samples as (1000 °C)- 1 and 2 h. Finally, the application of heat treatments and inoculations was shown that the best wear resistance was obtained for the samples having 1%TiBAI and Mo additions and as-cast condition. The worst wear resistance was obtained from the sample having heat treatment (1000 °C-2h), 3%TiBAI and without Mo additions.

Key words: Hypereutectic High Chromium White Cast Irons, Inoculation, Wear Resistance.

1.GİRİŞ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yapısında yer alan krom, korozyon direncini artırır. Mikroyapıda yer alan geniş birincil ve özellikle M_7C_3 tipi ötektik karbürler kırma ve öğütme alanları için gerekli aşınma direncini verir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demir aynı zamanda yeterli derecede tokluk ve işlenebilme özelliğine sahiptir. Aşınma direnci ve tokluk arasındaki denge ısıtılma işlem ve alaşımlandırma ile sağlanır.

Alaşımlı beyaz dökme demirler diğer dökme demirlerden ayrı bir malzeme grubudur. Yüksek alaşımlı ve özellikle de yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler, cevher kırıcıları, öğütücü değirmen balyaları, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, çeşitli pompalar, pabuçlar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve barlar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek abrasiv aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar.

Yukarıda bahsedilen alanlarda kullanılan malzemelerin aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı daha sert, aşınmaya daha dayanıklı ve darbe karşı daha dirençli malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler bu amaca en uygun malzeme gruplarından biridir.

Bu çalışmada farklı kompozisyonlardaki yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin içyapı ve mekanik özelliklerine, TiBAI aşındırıcısının ve bunun dahilinde ısıtılma işlemin etkisi incelenmiştir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerle ilgili uluslararası ve ulusal bir çok çalışma yapılmıştır. Ancak bu malzeme için tüm kullanım alanlarında belirgin bir mikro yapı , ısıtılma işlem ve mekanik özellikler tespit edilememiştir. Bundan dolayı bu malzemelerin, benzer kullanım alanlarında uygun mekanik özellikler tespit edilerek uzun ömürlü olması sağlanmaya çalışılmaktadır.

Ötektik üstü yüksek kromlu beyaz dökme demirlerle ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar darbesiz aşınma direnci açısından ötektik altı yüksek kromlu beyaz dökme demirlere göre olumlu sonuçlar vermiştir. Ancak ötektik üstü yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin darbe dirençlerinin kötü oluşu kullanım alanlarını sınırlamıştır.

2. DÖKME DEMİRLER

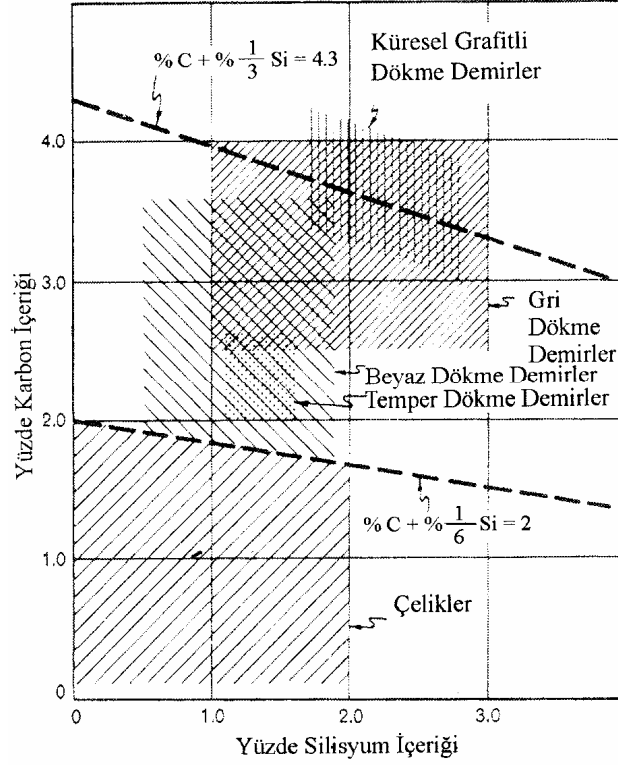
Dökme demirler, demir alaşımı olmakla beraber özellikleri çok farklıdır ve bunların isimleri bu malzemelerin arzulan şekillere katı durumda şekillendirmeden farklı olarak dökümle getirildiğini belirtmektedir. % 2'den genellikle de % 1'den az karbon içeren çeliklerden farklı olarak dökme demirler genel olarak yaklaşık % 2 – 4 C ve % 1 – 3 Si içerirler. Belirli özellikleri kontrol etmek ve değiştirmek için diğer metalik ve metalik olmayan alaşım elementleri ilave edilir. Kimyasal kompozisyonun yanında özellikleri etkileyen diğer önemli faktörler, katılaşma işlemi, katılaşma hızı ve müteakip ısı işlemlerdir. Bunların yaygın olarak kullanılmalarının nedeni, öncelikle nispi olarak düşük maliyetleri ve çok yönlü mühendislik özellikleridir. Yeni malzemelerin güçlü rekabetine rağmen, dökme demirlerin binlerce mühendislik uygulamaları için en uygun ve ekonomik malzeme olduğu ispatlanmıştır [1].

2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dört temel tip dökme demir mikro yapılarındaki karbonun dağılımına göre birbirinden ayrılabilir. Kimyasal kompozisyonları üst üste geldiği için bunlar kimyasal analiz ile ayırt edilemezler. Bu temel metalurjik tipler, beyaz dökme demir, gri dökme demir, temper dökme demir ve küre grafitli dökme demirdir. Yüksek alaşımlı dökme demirler dökme demirlerin beşinci tipini oluştururlar. Tipik olarak alaşımlandırılmamış dökme demirlerin kimyasal kompozisyon aralıkları Tablo 2-1'de verilmiş ve yaklaşık olarak karbon ve silisyum içerik aralıklarının çeliklerle karşılaştırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Tipik Olarak Alaşımlandırılmamış Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyon Aralıkları [1].

Element	Gri Dökme Demir %	Beyaz Dökme Demir %	Benekli Dökme Demir %	Sünek Dökme Demir %
Karbon	2.5 – 4.0	1.3-3.6	2.00 – 2.60	3.0 – 4.0
Silisyum	1.0 – 3.0	0.5 – 1.9	1.10 – 1.60	1.8 – 2.8
Mangan	0.25 – 1.0	0.25 – 80	0.20 – 1.00	0.10 – 1.00
Kükürt	0.02 – 0.25	0.06 – 0.20	0.04 – 0.18	0.03 max.
Fosfor	0.05 – 1.0	0.06 – 0.18	0.18 – max.	0.10 max.



Şekil 2.1. Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik aralıkları.

2.1.1 Beyaz Dökme Demir

Dökme demirin kimyasal kompozisyonunu beyaz dökme demir aralığında (Tablo 2.1) ve soğuma hızı yeterince hızlı ise beyaz dökme demir oluşacaktır. Beyaz dökme demirde eriyikteki karbon demirli birleşerek sert, gevrek bileşik olan demir karbür veya sementit olarak kalır. Beyaz dökme demir bu nedenle sert ve kırılgandır ve “Beyaz” kristal kopma yüzeyi sergiler. Beyaz dökme demir yüksek basma ve mükemmel aşınma direncine sahiptir [1].

2.1.2 Gri Dökme Demir

Dökme demirin kimyasal kompozisyonu gri dökme demir aralığında ve katılaşma hızı uygun ise sıvı demirdeki karbon ayrılır veya katılaşma sırasında ayrı grafit lamelleri oluşturmak üzere grafitleşir. Gri dökme demirler demir alaşımlarının en akışkanındır ve sonuç olarak karmaşık ve ince kesitli parçalar üretilebilir. Bu dökme demirler iyi aşınma direnci sağlayan sertliklerinde mükemmel işlenebilirliğe sahiptir. Gri dökme demirin kopma yüzey görünüşü gerçek bir gri renge sahiptir ve bu nedenle terim “gri dökme demir” dir.

2.1.3 Temper Dökme Demir

Bu dökme demir tipi karbonun çoğu düzensiz şekilli grafit nodülleri biçimindedir. Temper dökme demirin ilk dökümü uygun kompozisyonda beyaz dökme demir olarak yapılır. Daha sonra

genellikle temperleme olarak adlandırılan tavlama işleminde grafitler çekirdeklenir ve modüller (yumrular) oluşturmak üzere beyaz dökme demir sementitinden büyür. Temper dökme demirde tavlama ısı işlemini değiştirmekle çok geniş bir aralıkta özellikler elde edilebilir. Buna karşın ilk olarak beyaz dökme demir oluşturmak için hızlı soğutma gerektiğinden temper dökme demirin kalınlığı sınırlıdır.

2.1.4 Küre Grafitli Dökme Demir (KGDD)

KGDD (sünek dökme demir) serbest karbonu lamel yerine küre şeklindedir. Bu nedenle bazen ABD’de nodüler dökme demir İngiltere’de ise KGDD olarak adlandırılır. Bu dökme demirlerdeki küre grafit dökümden önce ergiyik demire çok küçük miktarda magnezyum ilavesi ile elde edilir. KGDD’nin kimyasal kompozisyonu gri dökme demire benzer. Ancak, kükürt ve fosfor gibi elementlerin miktarları çok azdır. KGDD’ler uygun sünekliklerinin yanında iyi bir akma dayanımı aralığına sahiptir ve temper dökme demirin aksine ince ve kalın kesitli büyük bir aralıkla dökülebilirler [1].

2.1.5 Yüksek Alaşımlı Dökme Demirler

Bu grup dökme demirler, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler, yüksek oranda alaşımlandırılmış KGDD ve gri dökme demirleri içerir. Alaşımlı dökme demirler ayrı olarak gruplandırılmıştır. Çünkü bunların aşınma, ısı ve korozyon dirençleri gibi belirli özellikleri alaşımsız ve az alaşımlı diğer dökme demirlerden oldukça farklıdır. Alaşımlı dökme demirler genellikle kimyasal kompozisyonlarıyla tanımlanırlar ancak bu tanımlamalar mekanik özellikleri de içerebilir [1].

3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Yüksek oranda krom ve molibden içeren beyaz dökme demirler çamur pompalarında, tuğla kalıplarında, çeşitli mineral delme, tesviye, işleme millerinde, sert kayaların işlenmesi için gerekli ekipmanlarda vb. gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Tablo 3.1.'de aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri verilmektedir.

Tablo 3.1. Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri [7].

Sınıf	Tip	Sembol	Kimyasal Bileşim, %					
			C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
I	A	Ni-Cr-HC	3,0-3,60	1,30 max	0,80 max	3,30- 5,0	1,40-4,0	1,0 max (a)
I	B	Ni-Cr-LC	2,50-3,0	1,30 max	0,80 max	3,30- 5,0	1,40-4,0	1,0 max (a)
I	C	Ni-Cr-GB	2,90- 3,70	1,30 max	0,80 max	2,70- 4,0	1,10- 1,50	1,0 max (a)
I	D	Ni-HCr	2,50- 3,60	1,30 max	1,0- 2,20	5,0-7,0	7,0-11,0	1,0 max (b)
II	A	% 12 Cr	2,8	0,50- 1,50	1,0 max	0,50 max	11,0- 14,0	0,50-1,0 (c)
II	B	% 15 Cr-Mo- LC	2,40- 2,80	0,50- 1,50	1,0 max	0,50 max	14,0- 18,0	1,0-3,0 (c)
II	C	% 15 Cr-Mo- HC	2,80- 3,60	0,50- 1,50	1,0 max	0,50 max	14,0- 18,0	2,30-3,50 (c)
II	D	% 20 Cr-Mo- LC	2,0-2,60	0,50- 1,50	1,0 max	1,50 max	18,0- 23,0	1,50 max (c)
II	E	% 20 Cr-Mo- HC	2,60- 3,20	0,50- 1,50	1,0 max	1,50 max	18,0- 23,0	1,0-2,0 (c)
III	A	% 25 Cr	2,30-3,0	0,50- 1,50	1,0 max	1,50 max	23,0- 28,0	1,50 max (c)

(a) : Max. % 0,30 P, % 0,15 S

LC : Düşük karbonlu

(b) : Max. % 0,10 P, % 0,06 S, % 1,2 Cu

HCr : Yüksek kromlu

(c) : Max. % 0,10 P, % 0,06 S, % 1,2 Cu

HC: Yüksek karbonlu

3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri

3.1.1. Fiziksel Özellikler

Artan karbon miktarı sonucu özgül ağırlıklarında düşme görülen beyaz dökme demirlerde, yapıda kalıntı ostenit artarsa, özgül ağırlık da artar. Genellikle özgül ağırlık $7,5 - 7,8 \text{ g / cm}^3$ tür. Isıl genleşme katsayıları $20 - 425^\circ\text{C}$ aralığı için $13,5 - 18 \mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$ mertebelerindedir. Elektrik direnci $0,5 \mu\Omega\text{m}$, ısıl iletkenlikleri ise $22 \text{ w/m}^\circ\text{K}$ civarındadır [6].

3.1.2. Mekanik Özellikler

Tablo 3.2’de $25 - 32 \text{ mm}$ kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin çeşitli mekanik özellikleri verilmektedir [6].

Tablo 3.2’deki değerler çeşitli ısı ve mekanik işlemler sırasında oluşabilen çatlaklar sebebiyle geniş sapmalar gösterebilir. Bununla beraber bu değerler pratikteki verilerle uygunluk sağlamaktadır.

Normalde yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mekanik testler sertlik testleri ile sınırlıdır. Sert ve kırılgan malzemeler için çekme testi numunesi hazırlanması zor ve pahalıdır. Numune elde edilmesi esnasında kırılmaya sebep olacak küçük çatlakların oluşma ihtimali bir hayli fazladır. Eğme testleri basittir. Fakat numunelerden elde edilecek sonuç ile gerçek döküm sonuçları arasında büyük farklılıklar oluşabilir.

Mikro yapı ve termal ortamdaki malzemenin birçok özellikleri hala detaylı olarak bilinmemektedir.

Sonuç olarak bu tür malzemelerin kalite kontrolleri, sertlik testi dışındaki diğer mekanik testlerle belirlenmemektedir.

Tablo 3.2. 25 – 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri [6].

Koşullar (Matris)	Tür	% C	Sertlik			Çekme Özellikleri		Basma Özellikleri		Isıl. Gen Katsayısı	
			HB	DPH	HRC	Muk. (N/mm ²)	Modül (N/mm ²)	Muk. (N/mm ²)	Modül (N/mm ²)	20-90 °C	20- 425°C
Su Verilmiş ve Temper. (M,O) (M,O)	15- 3LC	2,5 1	71 6	782	61,7	100	25,9	305	183	12,7	14,9
	15- 3HC	3,6 8	71 2	813	62,8	48,5	23,2	317	122	-	-
	15- 2-1	3,3 2	76 0	-	64,6	62,3	23,7	310	226	11,5	14,3
	20- 2-1	2,8 9	75 7	824	63,8	68,5	22,6	286	187	11,1	13,6
O % 66 (M+O), % 34P % 71 (M+O), % 29P % 96 O % 4 P M+O	15- 3LC	2,5 1	42 6	497	47,1	61,5	22,0	203	75	14,4	17,9
	15- 3HC	3,6	-	-	-	50,8	23,4	164	68,9	-	-
	15- 3HC	3,6	56 4	681	56,4	58	23	232	131	10,5	13,6
	15- 2-1	3,3 2	44 4	508	46,3	45,6	22,5	183	70	13,4	17,6
	20- 2-1	2,8 9	45 1	530	-	54,5	23,8	197	83,4	-	-
Fırında Soğut.	15- 3HC	3,6	41 1	455	41,8	69	24,3	158	48,2	11,1	13,6

M : Martenzit,

O : Ostenit,

P : Perlit

3.1.3. Manyetik Özellikler

Ticari amaçla geliştirilen beyaz dökme demirlerden (15 – 2 – 1) ve (20 – 2 – 1) sınıfından yapılan dökümler genellikle kalıpta soğuduktan sonra östenitiktirler ve sonuçta manyetik değildirler. Soğutma sırasında perlit veya martenzit dönüşümünden dolayı gerilme birikiminden kaçınıldığı için; bu tamamen östenitik durum, karmaşık şekilli dökümlerde avantaj olabilir. Beyaz dökme demirler martenzitik yapıda manyetikler. Manyetik olma özelliği kalıntı ostenit arttıkça manyetiklik azaldığından kalıntı ostenitin bir fonksiyonudur [6].

3.1.4. Mikroyapı

Beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci doğrudan mikro yapıların bir sonucudur. Mikroskobik ölçekte birçok aşınma prosesi, aşındırıcı tanelerinden birinin, metalin yüzeyine girmesi, deformasyon ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar kopararak gerçekleşir. Bunun kesme veya oyma gibi bir mekanik işlem prosesine benzediği ve aşınma parçacıklarının talaşlı işleme talaşlarına benzediği görülür. Bu mekanizmanın gerçekleşebilmesi için aşındırıcı partikülün metalden sert olması gerekir. Partikül metalden yumuşaksa; proses, korozyon veya oksidasyona benzer ve sadece önemsiz bir miktarda aşınma oluşur. Tablo 3.3’de çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri gösterilmektedir. Tablo 3.3; çoğu aşındırıcı minerallerde ana bileşen olan kuvarsın bütün demir esaslı alaşımların matris yapılarından daha sert olduğunu ve bunları kolayca aşındırabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.3. Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri[6,7].

Mineral, Malzeme veya Faz	Sertlik	
	Knoop	HV
Talk	20	-
Karbon	35	-
Gibsiyum	40	36
Kalsit	130	140
Florit	175	190
Apalit	335	540
Cam	455	500
Feldspat	550	600 - 750
Manyetit	575	-
Ortoglas	620	-
Filint	820	-
Kuars	840	900 - 1280
Topaz	1330	1430
Garnet	1360	-
Zımpara	1400	-
Korund	2020	1800
Silisyum Karbür	2585	2600
Elmas	7575	10000
Ferit	235	70-200
Perlit (Alaşımsız)	-	250 - 320
Perlit (Alaşımlı)	-	300 - 460
Ostenit (% 12 Mn)	305	170 - 230

Ostenit (Az Alaşımlı)	-	250 - 350
Ostenit (Yüksek Cr)	-	300 - 600
Martenzit	500 – 800	500 - 1010
Sementit	1025	840 - 1100
Krom – Karbür	1735	1200 - 1600
Molibden Karbür	1800	1500
Tungsten Karbür	1800	2400
Vanadyum Karbür	2660	2800
Titanyum Karbür	2470	3200
Bor Karbür	2800	3700

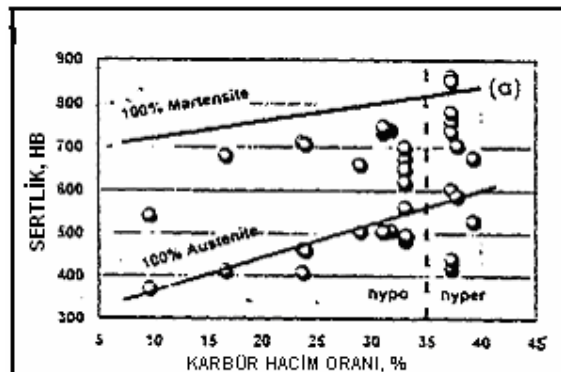
3.1.4.1. Karbürler

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler, mikro yapıda bulunan krom karbürlerinin etkisiyle, mikro yapısında sementit içeren dökme demirlerden daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikro yapıda süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbür bulunmaktadır. Tablo 3.4’de mikro yapıda bulunan karbürlerin sertlikleri verilmektedir, karbürlerin sertlikleri bileşime göre değişmektedir.

Tablo 3.4. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri[30].

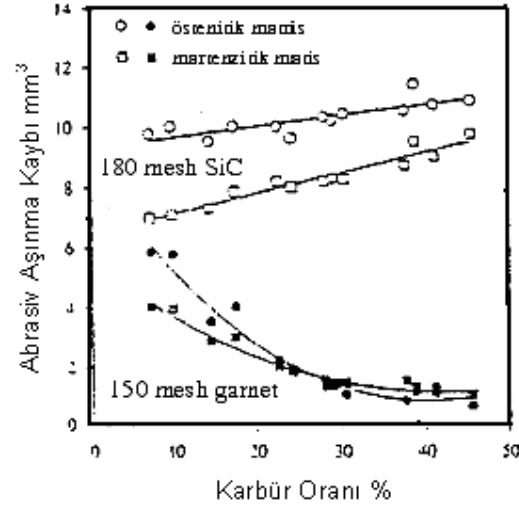
Karbür Tipi	Sertlik (HV)
M_3C	840 – 1100
M_7C_3	1200 – 1800
M_2C	1500

Karbürler mikro yapıda hacimce % 40 – 50 oranında bulunur. Bunun dışında kalan kısım matristir. Karbür oranı ile sertlik arasında doğru orantılı bir ilişki vardır[10].Şekil 3.1.’de karbür miktarındaki artış ile sertliğin arttığı görülmektedir.



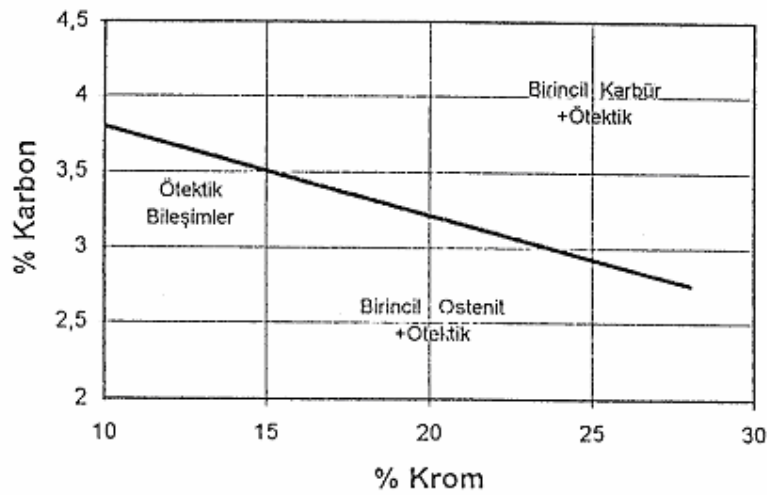
Şekil 3.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal olarak arttığını gösteren grafik[10].

Karbür oranı azaldıkça ağırlık kaybı artar. Ancak aşındırıcı parçacıkların büyüklüğü ile matrisin yapısı çok önemli bir etkidir[10]. Şekil 3.2 de karbür oranının abrasiv aşınma kaybına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Karbür oranının abrasiv aşınma kaybına etkisi [10].

Karbon miktarının artışı ile mikro yapıda bulunan karbür miktarı artar. Ötektik karbon miktarı aşındığında çok kaba birincil karbürler oluşur (Şekil 3.3.) [7].

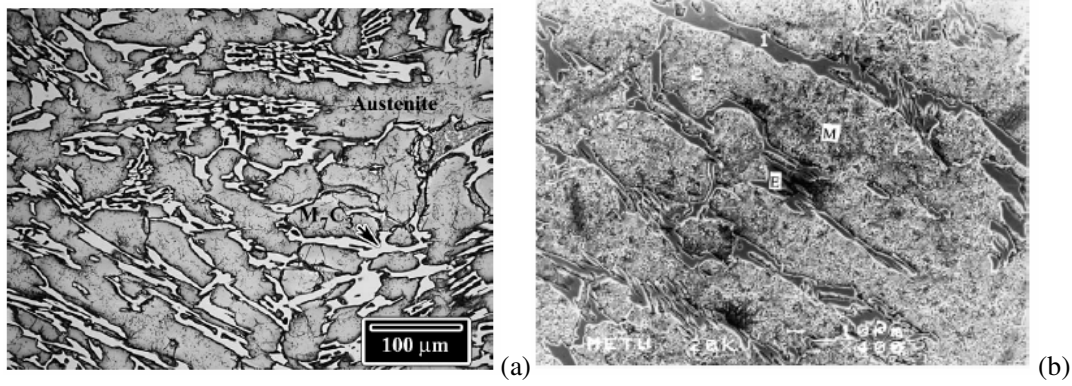


Şekil 3.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki.

Mikro yapıda oluşan birincil karbürler gevrek yapıya sahiptir ve abrasiv partiküllerin etkisi altında kırılmaya eğilimlidirler. Bu nedenle ötektik karbon içeriği temel uygulamalar için izin verilebilen maksimum orandır. Ötektik karbon miktarı % 15 kromda % 3.6, % 20 kromda % 3.2, % 25 kromda % 3 civarındadır. Diğer elementler bu miktarı değiştirirler. Özellikle silisyum bu miktarı azaltır.

3.1.4.2. Matris

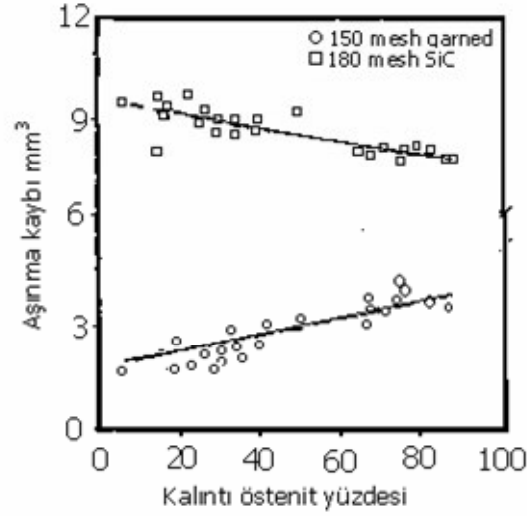
Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olabilmesi için beyaz dökme demirin mikro yapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek optimum seçim ikincil karbürlerde sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ise ısıt işlemlerle sertleştirilebilen kararsız östenittir. Şekil 3.4’de martenzit ve östenit matrisli mikro yapı fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 3.4. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a). Östenit [26] ve (c). Martenzit [23], matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları.

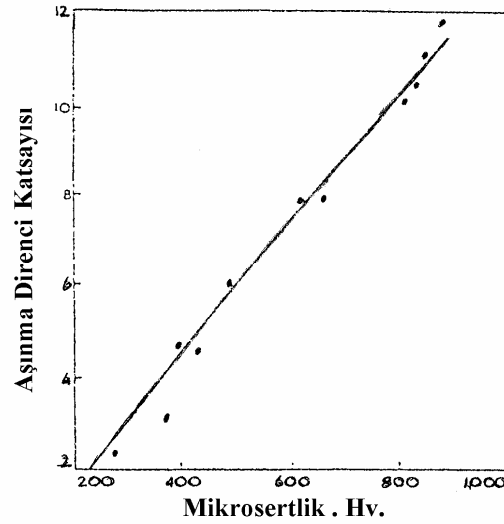
Karbon artışı ile birlikte martenzitin aşınma direnci artar. Isıl işlem sonucu martenzitik matrise dağılan ikincil karbürler aşınma direncinde artışa sebep olurlar. Temperleme ile aşınma direnci düşmektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içinde dağılmışlardır. Matris yumuşak olduğunda aşınır ve karbürler matristen kopar. Bu durumda karbürlerin aşınma dirençlerinin yalnızca bir kısmından yararlanılabilmiş olunur. Şekil 3.5’ de kalıntı östenit miktarı ile aşınma direnci arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 3.5. Kalıntı östenit yüzdesi ile aşınma direnci arasındaki ilişki[10].

Matrisin önemi Şekil 3.6'de açıkça görülebilir. Matris yumuşak olursa karbürlerin kırılma eğilimi yüksek ve aşınma direnci daha düşük olur. Matris yumuşadıkça akma noktası düşmektedir. Yumuşak matris, sürtünme sırasında oluşan mekanik gerilmelere karşı karbürlere gerekli desteği sağlayamaz. Sonuçta karbürler kırılır. Bu nedenle mikroyapıdaki perlit varlığı da önemlidir. Beyaz dökme demirlerde mikro yapıda bulunan perlit miktarı % 10'u aştığı zaman aşınma direnci düşmektedir.



Şekil 3.6. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi [6,7].

Östenitik yapıdaki yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler % 12 Mn içeren Hadfield çeliği gibi aşınma esnasında oluşan gerilmelerin etkisiyle deformasyon sertleşmesine uğrayabilir. Ancak mekanik gerilmelerle sertleşebilen östenitik matrisin, martenzitik matris kadar aşınmaya dirençli olmadığı Tablo 3.5'de görülebilir.

Tablo 3.5. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi[6].

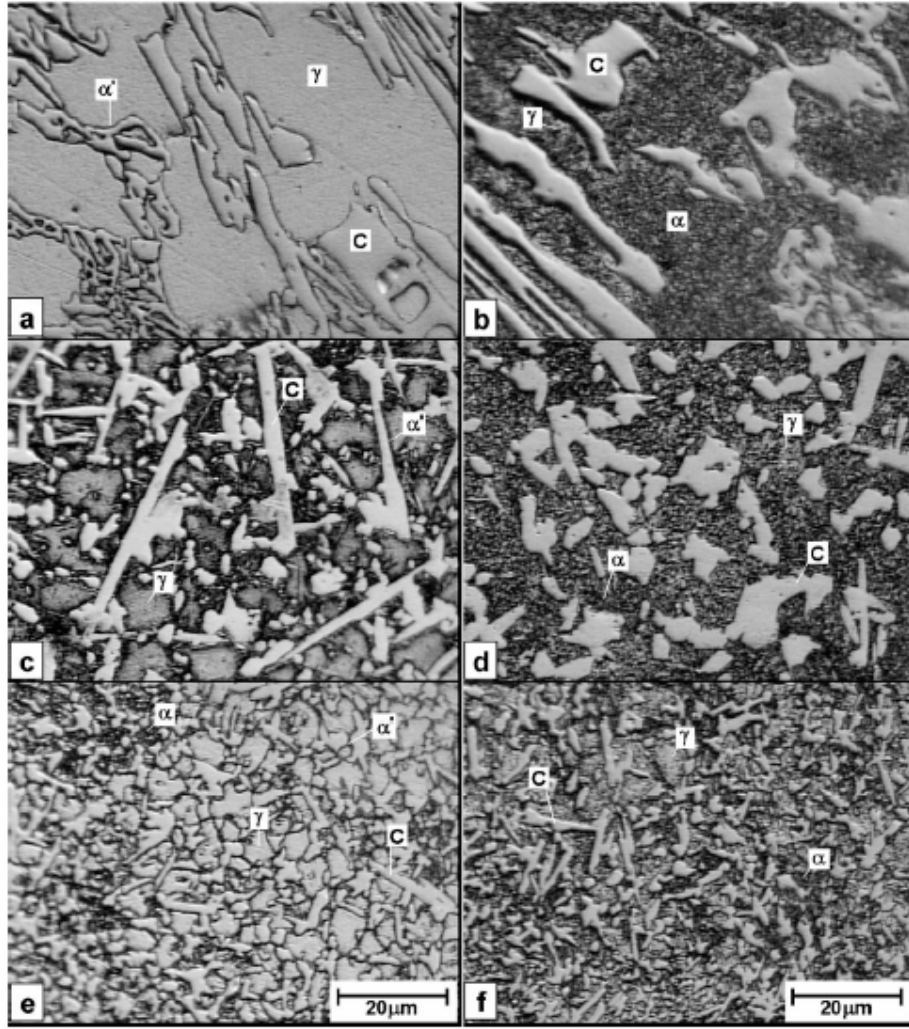
Matris	Oyma Aşınması Oranı	Öğütme Aşınması Kaybı (gm)	BHN
Perlit	0,41	0,14	406
Östenit	0,09	0,08	564
Martenzit	0,04	0,04	840

Tablo 3.5’deki sıralama endüstriyel olarak birçok kırma ve öğütme operasyonundaki pratik bilgilerle doğrulanmaktadır.

Mekanik gerilmeler etkisiyle martenzitik dönüşüme uğrayan ostenitik veya kısmi ostenitik matrisin bir dezavantajı sıcaklıktaki bir artışla matrisin tekrar kararsız hale gelmesidir. Bu faz dönüşümleri sonucu oluşan hacim değişikliği dökümün kırılmasına veya yüzeyde mikro çatlaklar oluşmasına yol açar.

Bununla birlikte Turenne, Lavellee ve Masounave isimli araştırmacılar ostenitik matrise sahip yüksek kromlu beyaz dökme demirin aşınma sırasında oluşan deformasyon sertleşmesi nedeniyle martenzitik matrise sahip beyaz dökme demirden daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu iddia etmişlerdir.

Uygulanan ısıl işlemlerin farklılığı, ısıl işlem sonrası farklı kesitlerdeki soğuma hızları, ve alaşım elementlerinin etkisi, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin matris yapısına etki ederek karışık matris yapılarını ortaya çıkarmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Yüksek kromlu dökme demirlerde karışık matris yapıları.
(γ) östenit, (α') martenzit, (α) pelit, (c) karbür [28].

3.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları

Yüksek krom – molibden içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir.

En başarılı uygulamalardan biri darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü bloklarıdır.

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler için aynı aşındırma şartlarında başarılı uygulamalar; çeşitli şahmerdanlar, bazı çekiçler ve küçük çeneli kırıcılar için aşındırma plakalarıdır. Dövücü parçalar çok yüksek aşınma etkileri altında çatlamakta ve genellikle en iyi sonuçlar martenzitik yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde elde edilmektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler çimento değirmenlerinde astar olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca cevher öğütmek için bilyalı ve otojen değirmenler de kullanılmaktadır. Burada yüksek kromlu beyaz dökme demirler, östenitik Mn çeliklerinin veya su verilip temperlenmiş az alaşımlı çeliklerin yerini birçok alanda devralmışlardır.

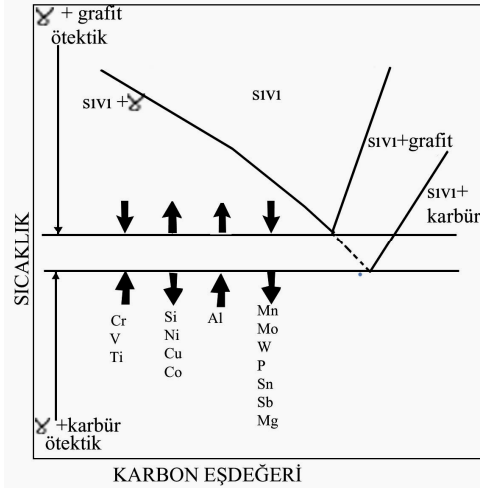
Aşınmaya dirençli pompa üretiminde yüksek kromlu beyaz dökme demirler artan ölçülerde kullanılmaktadır. Bu alanda yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin az alaşımlı beyaz dökme demirlere göre üstünlüğü sadece daha yüksek tokluk ve aşınma direncine sahip olmalarından değil, aynı zamanda daha iyi işlenebilirliğinden kaynaklanmaktadır.

Maden ve mineral endüstrisi dışında yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirler merdaneli değirmenlerde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Şeritli değirmenler için işlem merdanelerinde, profil, çubuk ve tel üretiminde yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler artan oranda kullanılmakta ve konvansiyonel merdane malzemelerinden daha iyi bir performans göstermektedir.

3.3. Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi

Birçok dökme demir tipinde alaşım elementlerinin (karbon ve silisyum da dahil) birbirlerinden etkilenmelerinden dolayı dökme demirlerin özelliklerine etkileri büyüktür. Alaşım elementleri grafitin ve karbürlerin şekil ve miktarını etkiler.

Mesela; çil derinliği ve dökme demirin beyazlaşma eğilimi büyük oranda karbon eşdeğeri ve karbon – silisyum oranına bağlı olarak değişir. Mn, Cr, Mo, Ni, V vb. alaşım elementleri ise temel eğilimi yönlendirmek için ilave edilmektedir (Şekil 3.8.). Beyaz dökme demirlerde optimum kimyasal bileşim ayarlaması; malzemeden beklenen hizmet özellikleri dikkate alınarak, maliyet, ısıtma işlemi, parça boyutu ve kompleksliği gibi üretim parametrelerine göre yapılır. Beyaz dökme demirlerde istenen mikro yapı ve aşınma direncini sağlayabilmek için C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni, V vb. alaşım elementleri uygun kombinasyonlar şeklinde ilave edilirler.

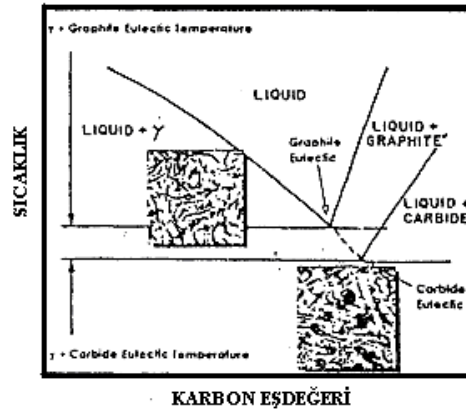


Şekil 3.8. Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi[10].

Cr, V ve Ti' un miktarındaki artış ile karbür ötektiği yukarı, grafit ötektiği aşağı doğru hareket eder. Neticede Cr, V ve Ti alaşım elementlerinin eklenmesi, karbür oluşumunu tetikler ve grafit oluşumunu engellemede mükemmel bir yoldur (Şekil 3.8.).

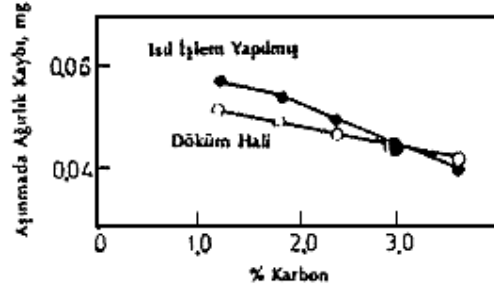
3.3.1. Karbon

Karbon, karbür oluşturmaya ile beyaz dökme demirin sertliğini artırır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbür oluşumu en önemli etkindir (Şekil 3.9.). Karbon içeriği %15Cr için % 2.2 – 3.5, %27Cr için % 2.2 – 2.7 civarındadır.



Şekil 3.9. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları arasındaki temperleme aralığı [10].

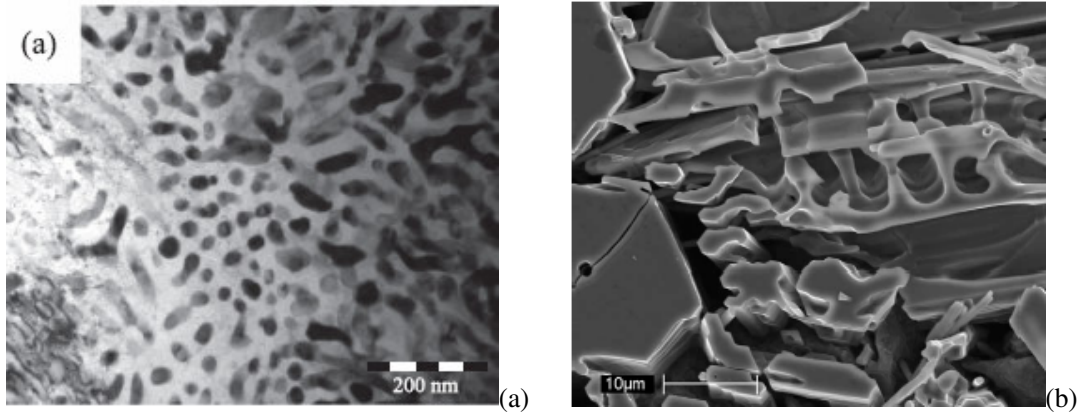
Beyaz dökme demirde, karbon artışı kırılmalılığı artırır ve özellikle mukavemeti düşürür. Diğer alaşım elementlerini sabit kaldığı düşünülürse, karbon artışı sertliği arttırdığı için aşınma direncinin de arttırmaktadır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde C' un aşınma direncine etkisi[11].

3.3.2 Krom

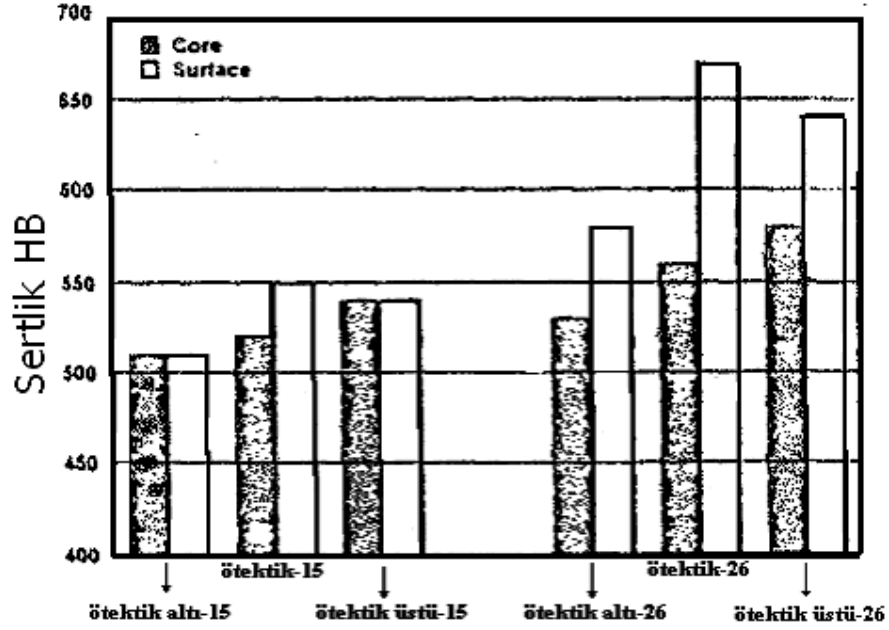
Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom; kararlı karbür yapısı oluşturup, sertlik ve aşınma direncinin artırılması için kullanılır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Farklı bileşimlerdeki krom karbürlerin mikro yapı fotoğrafları.

(a). $(Fe,Cr)_{23}C_6$ ve (b). $(Fe,Cr)_7C_3$ [25].

Beyaz dökme demirde krom miktarı % 10'u geçtiği zaman M_7C_3 tipi ötektik karbürler oluşur. Krom içeriği % 10'dan daha az olan alaşımlarda M_3C karbürleri oluşur. Krom aynı zamanda beyaz dökme demirin korozyon direncini de artırır. % 12 – 22 Cr içeren beyaz dökme demirlerin martenzitik yapıda en iyi aşınma direncini gösteren alaşım olduğu görülmektedir. Cr miktarındaki artış ile sertliğinde arttığı aşağıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Sertlik ölçümünün yeri ve Cr miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim[10].

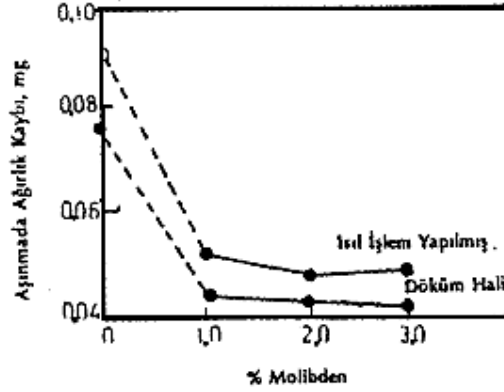
En çok sertlik farkı (yaklaşık 110HB) %26 Cr içeren ötektik yapılı beyaz dökme demirde görülmektedir[10].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom yalnız başına kullanıldığında perlit oluşumunu önleyemediğinden, yeterli sertleşebilirliği sağlayabilmek için Mn, Ni, Mo gibi elementler ile birlikte kullanılır.

3.3.3. Molibden

Molibden, perlit oluşumunu önler. Martenzitik beyaz dökme demirlerde % 0,5 – 3 Mo perlit oluşumunu önler. % 0,5 – 3 Mo ile birlikte Cu, Ni, Cr veya Ni ve Cr'un birlikte ilavesi diğer yüksek sıcaklık dönüşümlerini önler. % 12 – 18 Cr'lu beyaz dökme demirlerde, %1–4 Mo kullanımı, yavaş soğuyan kalın kesitlerde dahi perlit oluşumunu önleyebilir. Mo ince kesitlerde asiküler beynit tipi bir yapının meydana gelmesine yol açabilir.

Molibdenin Cu, Ni ve Mn'a göre üstün olan en önemli özelliği ise; kalıntı ostenite neden olmadan sertleşebilirliği arttırmasıdır. Mo, aynı zamanda beyaz dökme demirin aşınma direncini de arttırmaktadır (Şekil 3.13.) [11].

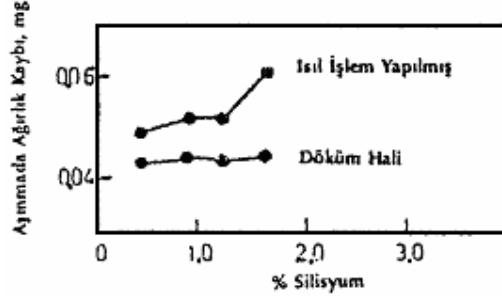


Şekil 3.13. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Mo' nin aşınma direncine etkisi[11].

3.3.4. Silisyum

Silisyum yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sertleşebilirliğinde olumsuz rol oynar. Silisyum oranı arttıkça ısıtılmış beyaz dökme demirin aşınma direnci azalır (Şekil 3.14.).

Mikro yapıda yeterli oranda Mn, Ni, Mo ve Cr gibi perlit oluşumunu önleyen elementler olursa silisyum artışı ile M_s sıcaklığı yükselir. Silisyum içeriği yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 0,4 – 0,9 arasında olmalıdır. Silisyum ayrıca mikro yapıdaki karbür yapısını değiştirir.



Şekil 3.14. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Si' un aşınma direncine etkisi[11].

Silisyum mikro yapıdaki karbür çekirdeklerinin artmasına sebep olur ve daha ince yapılı karbürler oluşturur. Silisyum ilavesi ile karbürler süresiz ince taneli bloklar veya çubuklar haline gelir. Bunun sonucunda karbürler arası mesafe azalır. Bu durumda karbürler matrisi aşınmadan korur ve malzeme yüksek aşınma direnci gösterir. Yeterli derecede silisyum içeriği tokluğu % 30 arttırır. Ancak fazla miktarda silisyum ilavesi perlit oluşma ihtimalini yükseltip matrisi zayıflatır. Bundan dolayı darbe direnci ile birlikte aşınma direnci de düşer.

3.3.5. Bakır

Bakır yüksek kromlu beyaz dökme demirlere perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Bakırın ostenit fazında çözünürlüğü kısıtlı olduğundan, kullanımı % 2,5 ile sınırlandırılır. Bakır

genelde molibdenle birlikte kullanılır. Maksimum % 1,2 veya daha az bakır; % 0,5 – 2 molibden ile birlikte kullanıldığında perlit oluşumunu önleme etkisi artır[7].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 2 molibden ile birlikte % 1 bakır ilavesi ile elde edilen serleşebilirlik, sadece % 3 molibden ilavesi ile elde edilen sertleşebilirlikten daha fazladır.

3.3.6. Fosfor

Fosfor yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin tokluğunu düşürür. Ayrıca fosfor özellikle kalın kesitli dökümlerde molibdenin sertleştirici etkisini yok edebilmektedir. Fosfor içeriği % 0,3'ün altında olmalıdır[7].

3.3.7. Kükürt

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde kükürt içeriği çok düşük olmalıdır. Optimum aşınma direnci istendiği için kükürt miktarı maksimum % 0,03'tür. Bu değerin üzerinde mikro yapıda yer alan kükürt, aşınma direncinin olumsuz etkiler[7].

3.3.8. Mangan

Manganez perlit oluşumunu önlemek için ilave edilir. Mn içeriği % 0,7'nin altında olmalıdır. Beyaz dökme demirlerde Mn içeriği % 1,5'i aştığı zaman tokluk, mukavemet ve aşınma direnci düşer. Çünkü söz konusu değerin üzerinde manganezin kalıntı ostenit oluşturma riski ve kırılma tehlikesi artar[7].

3.3.9. Nikel

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde nikel perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Genellikle nikel miktarı % 0,2 – 1,5 arasındadır. Ayrıca nikel serleşebilirliği de arttırır[7].

3.3.10. Bor

Bor da silisyum gibi mikro yapıdaki karbür morfolojisini etkiler. Bor mikro yapıdaki karbürleri inceltir ve sürekli iğneler şekline getirir. Bunun sonucunda aşınma direnci artar. Bu durum, bor miktarı % 0,12 – 0,3 arasında olduğunda geçerlidir. Bu limitler arasında bor ilavesiyle darbe direnci de % 20 artar.

Bor miktarının artmasıyla birincil karbürler oluşabilir. Bu yüzden bor ilavesi % 0,57 oranıyla sınırlıdır.

% 28 Cr'lu beyaz dökme demirlerde bor ilavesi karbür miktarını arttırmakta, karbürleri daha sert yapmakta, kabalaştırmakta ve döküm halinde Martenzit oluşumunu ilerletmektedir. Bor ilavesi % 28 Cr'lu beyaz dökme demirin tokluğunu düşürmektedir.

3.3.11. Niyobyum

Nb kuvvetli bir karbür yapıcı elementtir. % 0,01 – 0,5 oranında Nb'un; dökme demirlerin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini arttırdığı bildirilmektedir. % 3'e kadar Nb; % 15,6 – 27,7 Cr ve % 2,9 – 3,2 C içeren demirlerin aşınma direncini artırabilir.

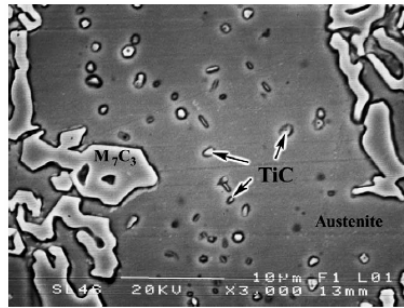
Nb ilavesi yapıyı inceltmektedir. İnce taneli yapı da; demirin aşınma direncini arttırmaktadır. Nb ilavesiyle ötektik nokta sağa doğru kaymaktadır. Böylece demir; gevrek kaba taneli birincil karbür görülmeksizin daha fazla karbon içerebilmektedir.

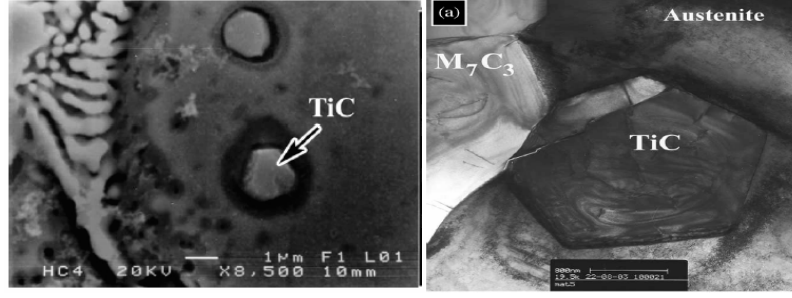
3.3.12. Vanadyum

Vanadyum, mikro yapıda karbür oluşturu element olarak yer alır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere düşük miktarlarda (yaklaşık % 0,5) vanadyum ilavesi aşınma direncini düşürür. Aşınma direncinin düşmesi; vanadyumun krom karbürlerde yoğun olarak çözünüp krom karbürlerin gevrekliğini arttırmasından dolayıdır. Vanadyumun % 3'e kadar artması durumunda, vanadyum karbürlerin (VC) oluşması sebebiyle aşınma direncinden kısmi bir artışın olduğu görülür.

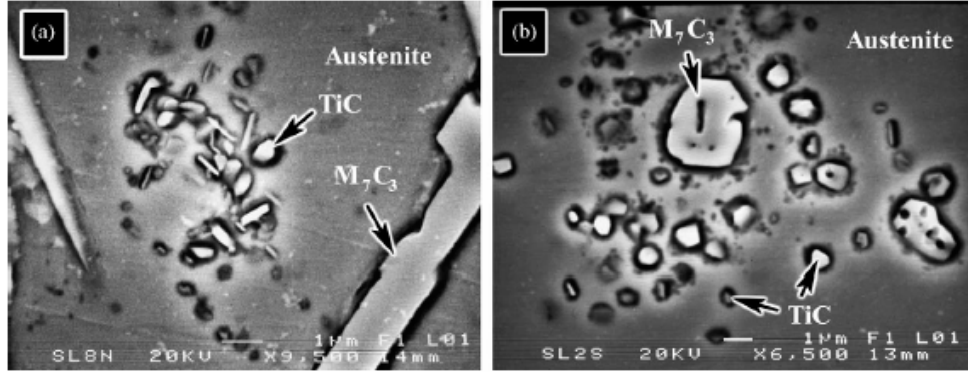
3.3.13. Titanyum

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 0,03 – 0,3 oranlarında titanyum ilavesi yapıdaki birincil ve ötektik karbürleri küreleştirme eğilimi gösterir. Ti oranının artırılması ile TiC miktarı da artar. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince TiC partikülü çökeler (şekil 3.15.). Bu pek çok çekirdeklenme serbest dentritik, çubuğumsu veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesini bastırır. Bu da mekanik özelliklere, özellikle de toklukta düzelme sağlar. (şekil 3.16.). Ti oranının artması ile ötektik karbür oranı düşer[26] (Şekil 3.15), matris mikro sertliği ve yüzey sertliği artar.



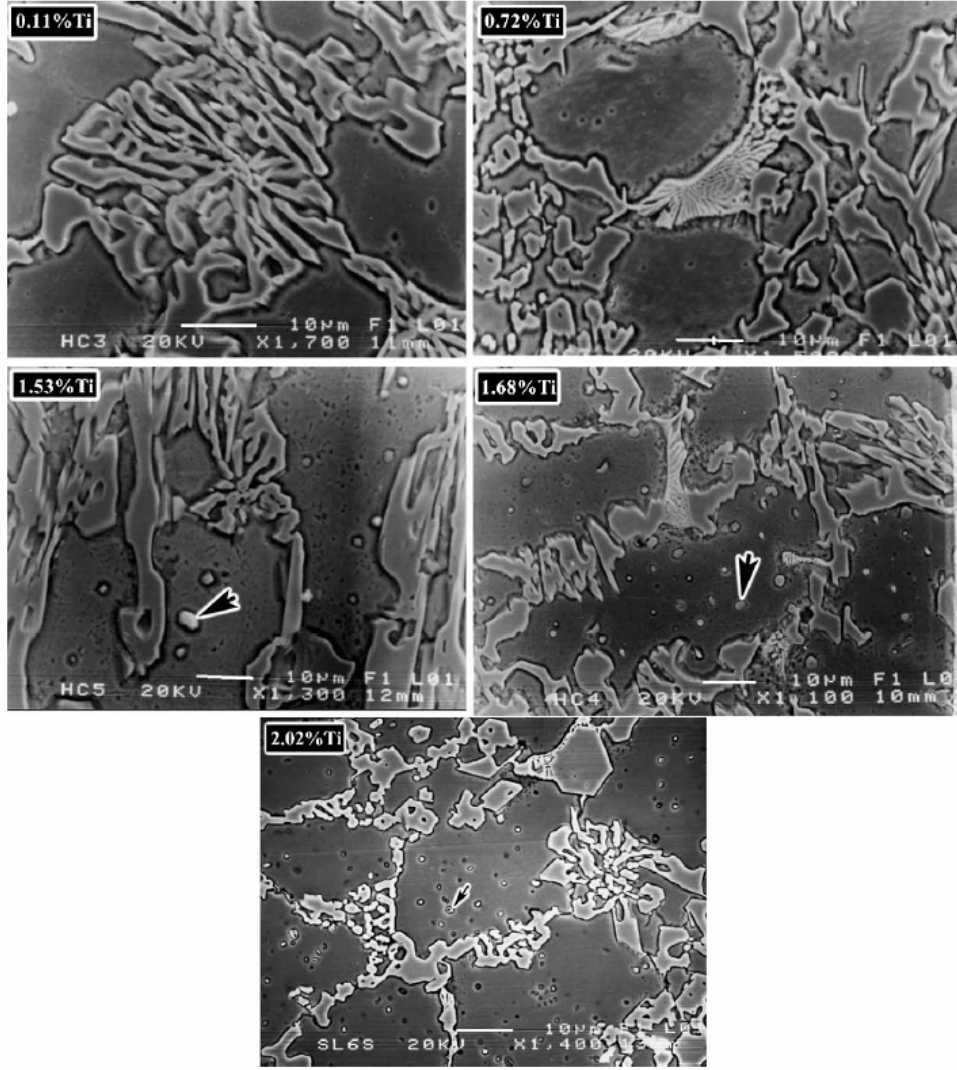


Şekil 3.15. Östenit matris içerisindeki TiC' ün farklı büyütme ölçeklerindeki resimleri [26].



Şekil 3.16. TiC' lerin bir araya toplanması sonucu karbür şeklinin değişimi.

(a)% 1.68 Ti ve (b)%2.02 Ti [26].



Şekil 3.17. Farklı oranlardaki Ti' un mikro yapıya etkisi [26].

3.3.14. Nadir Toprak Elementleri

Seryum, lantan ve neodim gibi nadir toprak elementleri; % 18 Cr içeren beyaz dökme demirlerin mikro yapı karakteristiklerini değiştirebilmekte ve mekanik özelliklerini düzeltmektedirler. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde optimum seryum, lantan ve neodim içeriği % 0,13 – 0,26 arasındadır. Bu alaşımların aşınma direnci, hiç nadir toprak elementi içermeyen temel alaşıma göre % 10 daha iyidir ve kırılma tokluğunda hiçbir değişim yoktur.

4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILISMA VE ISIL İŞLEM

4.1. Ergitme ve Döküm

Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerden ticari amaçla beş temel sınıf geliştirilmiştir. Tablo 4.1.'de söz konusu ticari bileşikler ve özellikler görülmektedir.

Yüksek krom ve molibdenli beyaz dökme demirler genellikle elektrik ark ve indüksiyon fırınlarında üretilir. Astar asidik, bazik veya nötr olabilir. Eğer astar asidik ise ergiyikteki krom ile silika astar arasında bir reaksiyon söz konusudur. Ancak olaya pratik açısından baktığımızda bu; önemli bir problem teşkil etmez.

Normalde şarj malzemeleri çeşitli çelik ve döküm hurdası, servisten geri dönen hurda ve parça ferro kromdur.

Tablo 4.1. Ticari amaçla geliştirilen yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin bileşimleri[6].

Tür	% Bileşim								Sertlik (HRC)		
	C	Mu	Si	Cr	Mo	Cu	S (max)	P (max)	Döküm Sonrası	Su Verme	Tavlama Sonrası
15-3 HC	3.4	0.9	0.6	15	2.8	-	0.05	0.1	51-56	62-67	40-44
15-3 MC	3.0	0.8	0.6	15	2.8	-	0.05	0.1	50-54	60-65	37-42
15-3 LC	2.6	0.7	0.6	15	2.36	-	0.05	0.1	44-48	58-63	35-40
15-2-1	3.2	0.8	0.6	15	2.1	0.9	0.05	0.06	50-55	60-67	40-44
20-2-1	2.8	0.8	0.7	20	1.7	0.9	0.05	0.06	50-54	60-67	34-43

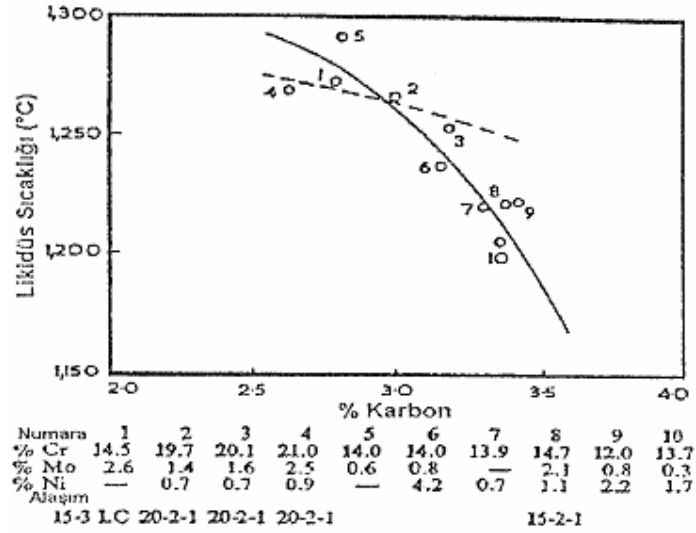
Molibden genellikle ferro alaşım şeklinde ilave edilir. Ancak özellikle ark fırınlarında molibden oksit de kullanılabilir. Karbon; grafit elektrod, petrol koku ve diğer kaynaklardan elde edilir. Eğer karbürizasyon için pik demir kullanılırsa düşük silisyum içermelidir. İdeal silisyum içeriği % 0.6'dır. Manganez içeriği % 1'dir. Aşırı oksidasyon kaybindan kaçınmak için ferrokrom ilavesi ergitmenin sonucunda yapılır.

Yüksek krom – molibden içeren beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklığı karbon içeriğine bağlıdır. Şekil 4.1.'e göre alaşımın krom içeriği de likidüs sıcaklığını etkilemektedir.

Tong'a göre T_e (ergime sıcaklığı) ve T_o (ötektik sıcaklığı) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$T_e = 1554.5 - 89.2(\%C) - 0.77 (\%Cr) \quad T_o = 1201.7 - 20.3 (\%C) + 5.97 (\%Cr)$$

Tablo4.2 de C ve Cr içeriği ile ergime sıcaklığındaki değişim görülmektedir.



Şekil 4.1. % 12 – 16 Cr, % 19 – 21 Cr içeren beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının karbon içeriğine göre değişimi[6].

Yüksek döküm sıcaklıklarında kaba dentritik yapı oluşur. İnce taneli yapı ve ötektik karbür yapısının kontrolü için döküm sıcaklığı düşük olmalıdır.

Alaşım lar yaş – kuru kum kalıba, yağlı kum ya da çelik kumuna dökülür. Katılaşmadan sonraki çekilme % 2’dir.

Besleyici ve yollukların ana parçadan kesilmesi sırasında çatlak oluşturulmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca kesme işlemi kuru olarak yapılacaksa ısınmaya yol açılmamalıdır.

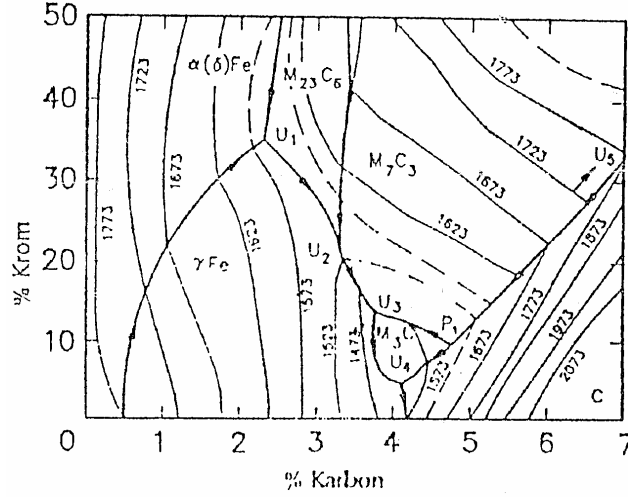
Tokluk, genellikle dökümden sonra en düşük düzeydedir. Ancak ısıl işlemle tokluk artırılabilir.

4.2. Fe – C – Cr Sistemi

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci ve mekanik özellikleri mikro yapılarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Fe – C – Cr sisteminin özelliklerinin incelenmesinde yarar vardır.

Tablo 4.1.’de ASTM A 532’ye göre yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sınıflandırılması görülmektedir. Bu tablodan pratik olarak Fe – C – Cr sisteminin % 1 – 4 C, % 10 – 30 Cr içeren bölgesinin kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Fe – C – Cr sistemi üçlü denge diyagramları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Özellikle bu araştırmalar sıvılaşma yüzeyi ve üzerindeki kritik noktalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Şekil4.2’de Fe – C – Cr sisteminin sıvılaşma yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.2. Fe – C – Cr sistemi[11].

Şekil 4.2’ deki denge diyagramında yüksek kromlu beyaz dökme demirler açısından en önemli doğru U₁ ve U₂ kritik noktaları arasındaki ötektik alandır. Bu alan üzerinde U₂ ve U₃ noktaları arasında ötektik karbür fazı M₇C₃ U₃ noktasının altında ise M₃C karbür fazı oluşmaktadır.

Ticari açıdan yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin çoğunluğu bileşim açısından ostenit M₇C₃ bölgesinde bulunur. Aynı Cr / C oranına sahip bileşiklerdeki alaşımlar östenitleme sırasında benzer matris yapısı oluşturur. Karbür yapısı farklı olsa bile aynı sıcaklıkta yapılan ısıtıl işlemle benzer matris elde edilir.

Gerçek soğuma şartlarında, Şekil 4.2’ye göre oluşması gerekli olan M₂₃C₆ karbürleri görülmez. Tablo 4.2., Şekil 4.2’deki bazı kritik noktalardaki reaksiyonları göstermektedir.

Tablo 4.2. Fe–C–Cr sisteminin sıvılaşıma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar[11].

Sistem	Sembol	Sıcaklık °C	Reaksiyon
Fe – C – Cr	U ₁	1275	L+δFe=M ₂₃ C ₆ +ΓFe
	U ₂	1255	L+M ₂₃ C ₆ =M ₇ C ₃ +ΓFe
	U ₃	1160	L+M ₇ C ₃ =M ₃ C+ ΓFe
	U ₄	1156	L+M ₃ C=M ₃ C+ ΓFe+C
	U ₅	1230	L+M ₇ C ₃ +C=M ₃ C
	U ₆	1585	L+M ₃ C ₂ =M ₇ C ₃ +C

Tablo 4.4.’de Fe–C–Cr sisteminde bulunan fazların kristal yapıları ve kafes parametreleri görülmektedir. Tablo 4.3’ten görüldüğü gibi karbürler çok karmaşık ve farklı kristal yapıya sahiptir.

Tablo 4.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikro yapısında bulunan fazlar ve kafes parametreleri[30].

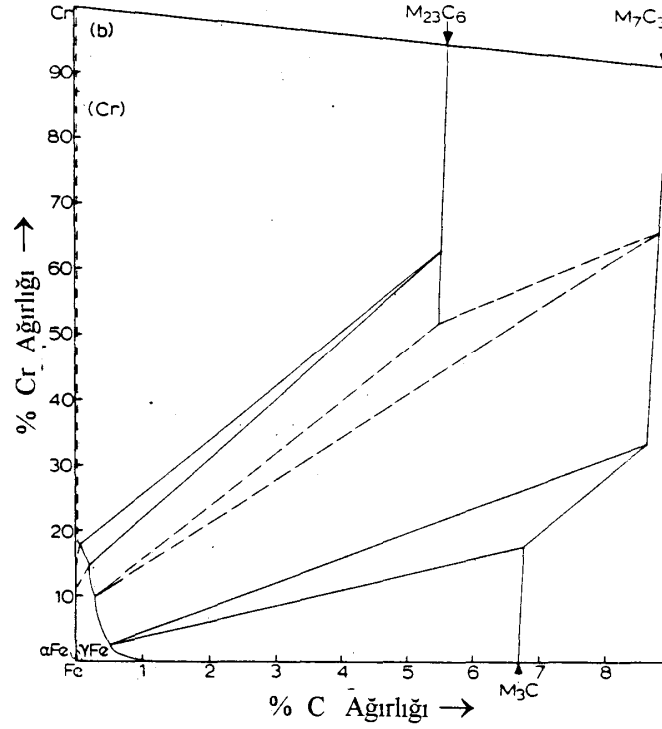
FAZ	KAFES YAPISI
α Fe	HMK
Γ Fe	YMK
δ Fe	HMK
Cr	HMK
Fe_3C	Ortorombik
Cr_{23}C_6	YMK
Cr_7C_3	Hekzagonal
Cr_3C_2	Ortorombik
α (% 14,7 Cr)	Tetragonal

4.3. Fe-C-Cr Sistemi Katı Durum Denge Diyagramı

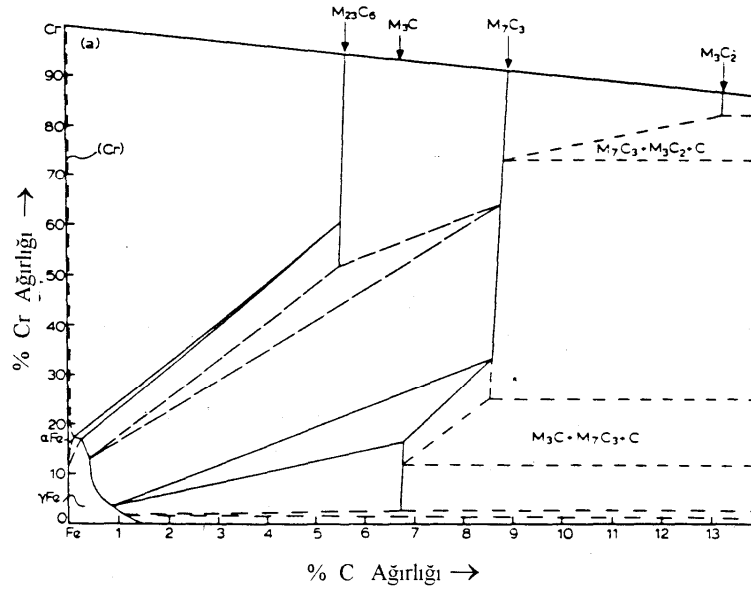
Fe-C-Cr sisteminin katı durum diyagramları yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin dökümünde soğuma sırasında oluşan matris yapısının ve yeniden östenitleme ile östeniti martenzite dönüştürme işlemindeki yapı oluşumları önemlidir. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.' de Fe-C-Cr sisteminin 1000°C ve 870 °C' deki izotermi görülmektedir.

Ticari alanda kullanılan beyaz dökme demir bileşimlerinin çoğunluğu östenit - M_7C_3 bölgesinde bulunur. Şekil 4.4.' de gösterilen 870 °C' deki izotermin 1000°C deki izotermden temel farkı , östenit alanının daralmasıdır. Bu daralma ile belirli bir bileşimdeki yüksek kromlu beyaz dökme demirin matrisini oluşturan östenit 870 °C' de, 1000 °C' ye göre daha az krom ve karbon içerir.

Bütün bu bileşimdeki sıcaklık azalması ile beraber östenitin, Cr ve C oranı azalmaktadır. Sıcaklıkla östenit bileşimi arasındaki bu ilişkinin daha açık belirlenmesi için sadece bu köşenin 1150 °C ve 900 °C arasındaki izotermi Şekil 4.5.' de verilmektedir.



Şekil 4.3. Fe-C-Cr sisteminin Fe-C-Cr 1000°C deki katı durum izotermi.

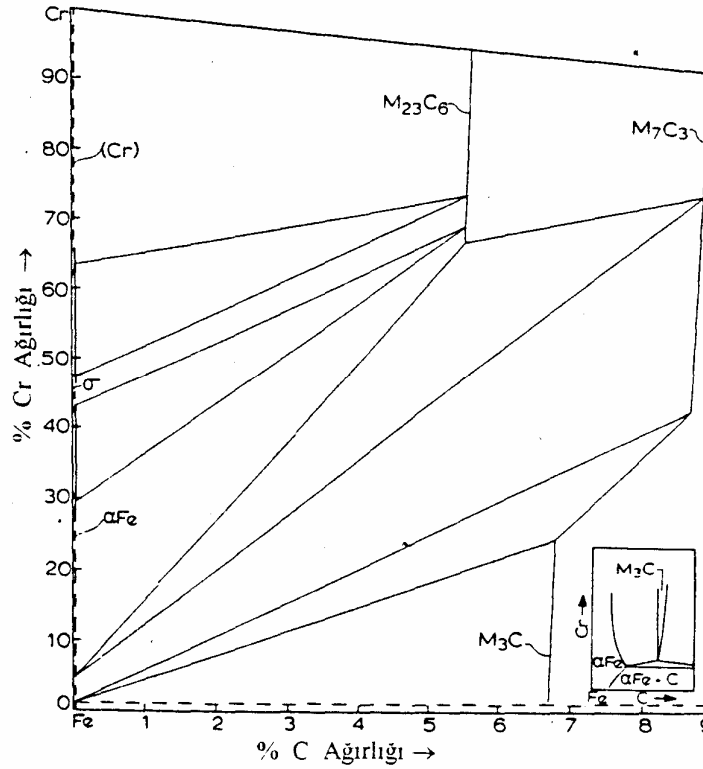


Şekil 4.4. Fe-C-Cr sisteminin 870°C deki katı durum izotermi[5].

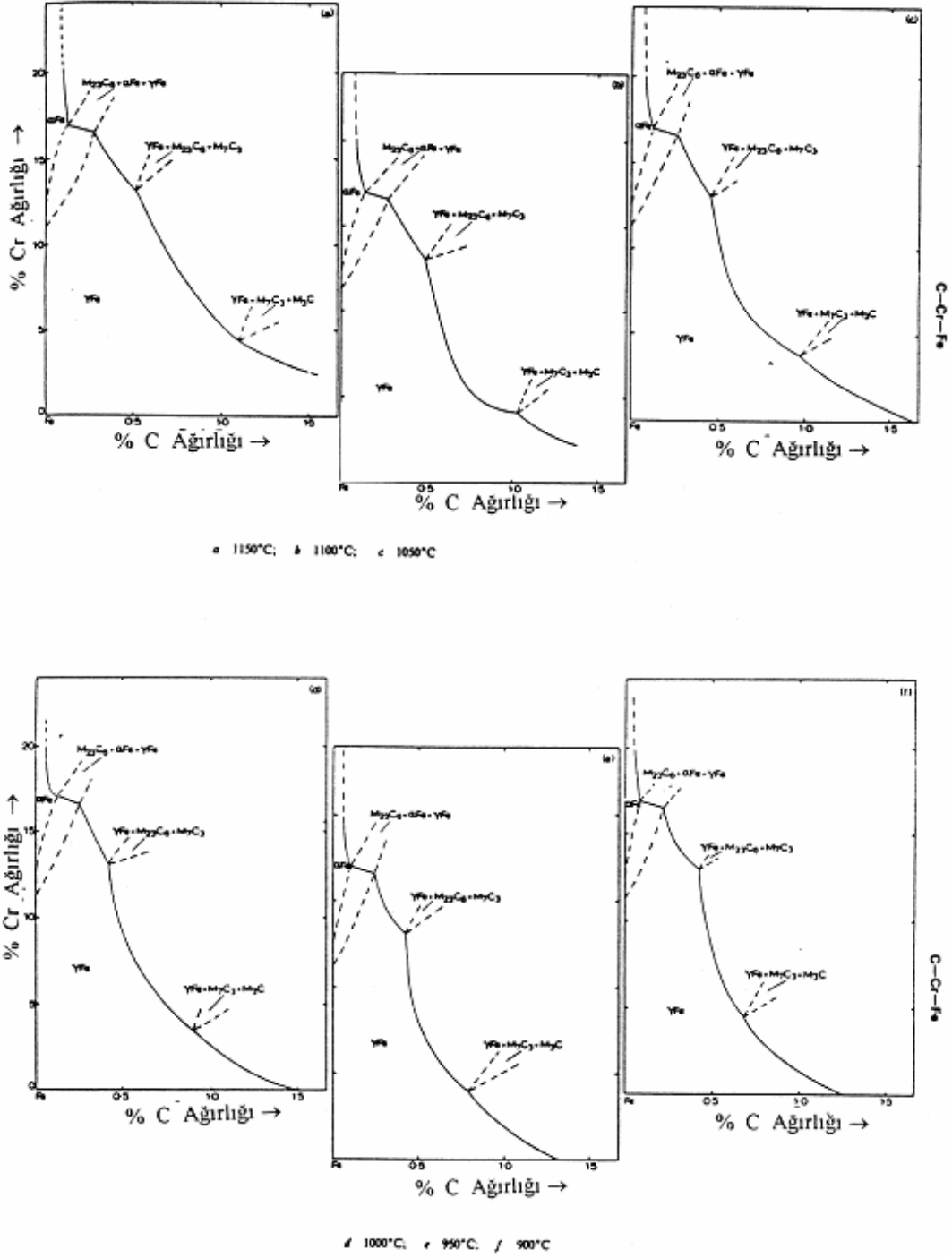
Burada dikkati çeken nokta östenit ve östenitin östenit- M₇C₃ ötektoid bölgesini ayıran çizginin sıcaklıkla değişimidir. 1150 °C' de üst noktası %13 Cr, %0.4 C, alt noktası, %4 Cr, %3 C içermektedir. Yani, gerilme daha çok alt noktadadır. Bunun sonucu olarak düşük Cr/C oranlı

bileşimler ısı işlemlerinde sıcaklık değişimlerine yüksek Cr/C oranlı bileşimlere göre daha hassastır. Fakat bütün bileşimlerde sıcaklığın azalması ile beraber östenitin Cr ve C oranı azalmaktadır. Şekil 4.5' de 700 °C izotermi görülmektedir. Burada östenit bölgesi kaybolmuş, yerini ferrit bölgesi almıştır. Bu izoterm daha çok temperleme işlemleri için kullanılır. Sıcaklık daha da düşerse, matris için denge fazı östenit yerine ferrit olur.

Benz (1974), 1150-900 °C sıcaklıklardaki Fe-C-Cr üçlü faz diyagramlarını optik mikroskop, x-ışınları ve elektron mikroskobu kullanarak hassas bir biçimde analiz etmiştir.



Şekil 4.5. Fe-C-Cr sisteminin 700 °C deki katı durum izotermi



Şekil 4.6. Fe-C-Cr sisteminde Fe köşesinde 1150 °C - 900 °C izotermi (Raynor, 1988)

Şekil 4.3.' deki çizgiler (kesik çizgiler) 1000°C deki beklenen denge durumunu gösterir. Buradaki oluşumlar; $\gamma\text{Fe} + \text{M}_3\text{C} + \text{C}$ ve $\gamma\text{Fe} + \text{C}$ ' dir. Ayrıca ileri üçgen bağlantılarında $\text{M}_7\text{C}_3 + \text{M}_3\text{C}_2 + \text{C}$ ve $\text{M}_3\text{C} + \text{M}_7\text{C}_3 + \text{C}$ oluşumları da elde edilebilir. Şekil4.5.' de çözünürlük limitlerinin daha hassas ilişkileri, $\gamma\text{Fe} + \text{M}_3\text{C} + \text{M}_7\text{C}_3$ ve $\gamma\text{Fe} + \text{M}_{23}\text{C}_6 + \text{M}_7\text{C}_3$ ayrıca $\alpha\text{Fe} + \gamma\text{Fe} + \text{M}_3\text{C} + \text{M}_{23}\text{C}_6$ üçgen

bağıntıları ile verilebilir. Tablo4.5.' de 870 °C' deki üçgen bağıntı değerleri verilmektedir. Şekil 4.5.' deki grafiklerde dikkati çeken nokta, östenit ve östenit - M_7C_3 ötektoid bölgesini ayıran çizginin sıcaklıkla değişimidir. Bütün bileşimlerde sıcaklık azalması ile beraber östenitin, krom ve karbon oranı azalmaktadır. Sıcaklık daha da düşerse, matris için denge fazı östenit yerine ferrit olur. 700 °C' deki izotermde M_3C içindeki Cr, yaklaşık % 18' e kadar olduğunda krom demirle yer değiştirir. Bu izotermde $M_{23}C_6$ yaklaşık % 35' e kadar, M_7C_3 ise %50' ye kadar Fe çözündürmektedir.

Tablo 4.4. 870 °C' deki üçgen bağıntıları (Woodyatt ve Kraus, 1976)

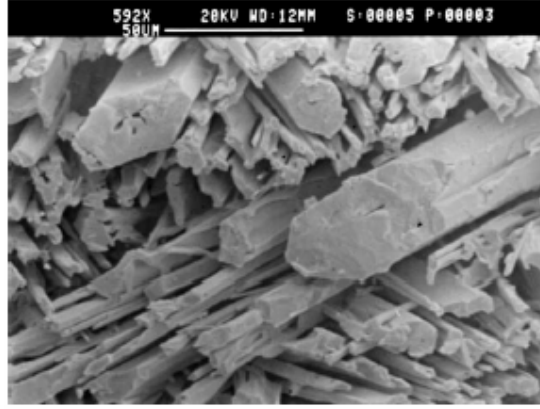
Bileşim % Ağırlığı		
Üçgen	C	Cr
$\gamma Fe + M_3C + M_7C_3$		
M_3C	6.81	18
M_7C_3	8.61	33.2
γFe	0.53	2.5
$\gamma Fe + M_{23}C_6 + M_7C_3$		
M_7C_3	8.84	65.7
$M_{23}C_6$	5.51	51.7
γFe	0.3	10.0
$\alpha Fe + M_3C + \gamma Fe + M_{23}C_6$		
$M_{23}C_6$	5.55	62.78
αFe	0.07	17.75
γFe	0.22	14.78

4.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerinin Katılaşma Yapısı

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde östenit M_7C_3 ötektiği arasındaki reaksiyon, katılaşma özellikleri, karbür morfolojisi ve bunun sonucunda malzemenin aşınma direnci ile tokluğunu etkilediği için mekanik özellikler açısından önemlidir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ticari alaşımları çoğunlukla ötektik altı bileşimdedir. Bu alaşımlar katılaşırken ilk olarak östenit taneleri daha sonra M_7C_3 östenit ötektiği oluşur. Ötektik yapıdaki karbür dağılımı ve şekli ötektiğin miktarı ve bileşiğine bağlıdır.

Ötektik karbürün mikro yapıdaki oranı az ise (% 20) ötektik karbürleri östenit tane sınırlarına ayırır. Bunlar östenit tane sınırları boyunca uzanan levhalar ve tane içlerinde küçük çubuklar şeklinde belirir.



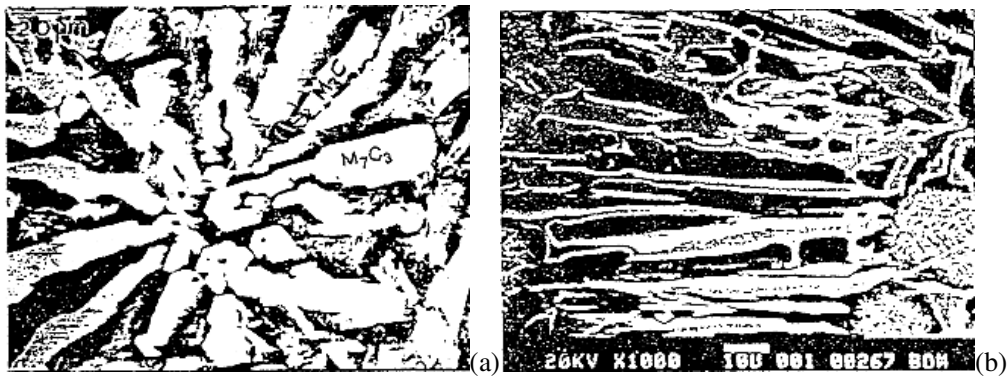
Şekil 4.7 Ötektik karbürün mikro yapı fotoğrafı [22].

Ötektik karbür oranı arttıkça karbür lamelleri ostenit tanelerinin içine doğru uzamaya başlar.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin diğer beyaz dökme demirlere göre daha iyi tokluk özelliği göstermesi M_7C_3 karbürlerinin, öteki beyaz dökme demirlerdeki M_7C karbürleri gibi sürekli ağ yapısı oluşturmamasından kaynaklanır. Bu nedenle ötektik yapının içindeki bu tür karbürlerin boyut ve dağılımı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri açısından önemlidir. Ötektik karbürlerin dağılım ve şekilleri; metal döküm sıcaklığı, katılaşma hızı ve bileşim gibi parametrelere bağlıdır.

4.5. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri

M_7C_3 karbürleri %8.6-8.9 C içerirler. Yoğunluğu $6.6-6.9 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı trigonal (pseudo (yalancı) hegzagonal), çubuk ve bıçağa benzer yapılara sahiptir (Şekil 4.8.), sertliği 1000 -1800 (DPH) ve serbest enerjisi (-10) – (-20) kJ/mol' dur. Çözündürdüğü Cr içeriği %24'ten %56' ya kadar değişebilir. %30' un altında V ve %7' nin altında Mo içerebilirler[10].

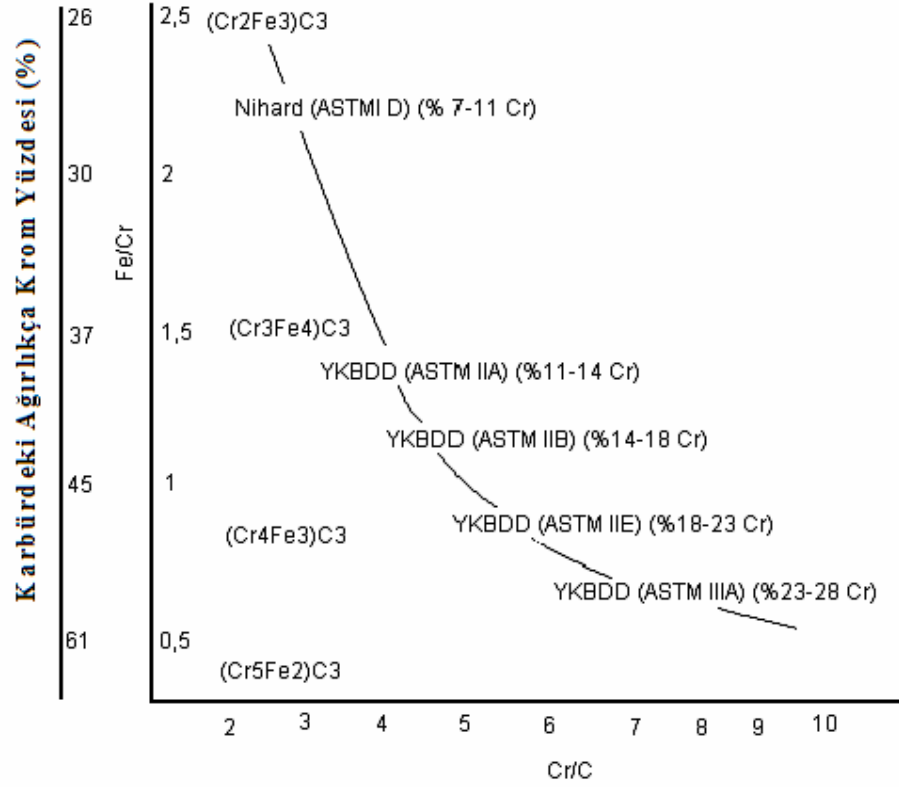


Şekil 4.8.. M_7C_3 karbürlerinin çubuğa benzer (a) ve bıçağa benzer(b) mikro yapı fotoğrafları[10].

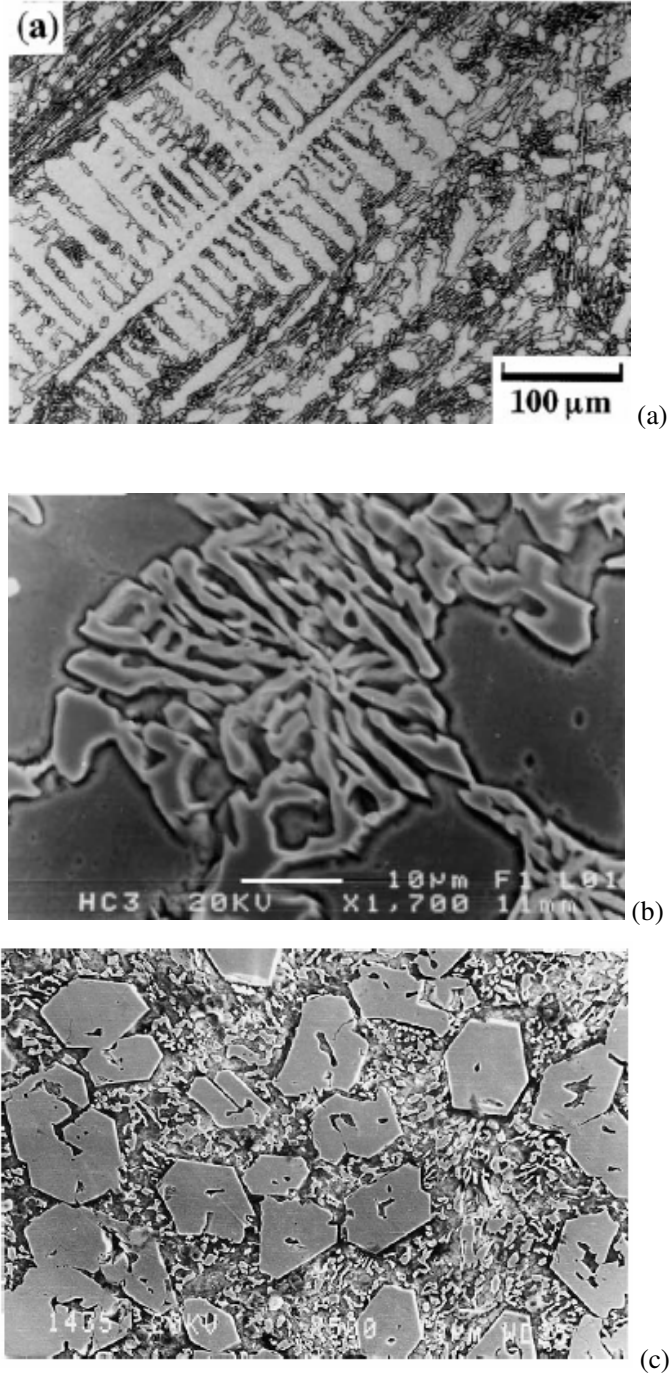
Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimlerinde krom dışında molibden, titanyum, vanadyum gibi karbür yapıcı elementler de bulunmaktadır. Ancak mikro yapıda genel olarak krom karbürler yer alır. Karbürlerin yapısındaki krom miktarı alaşımın Cr/C oranına bağlıdır. Mesela;

alaşımın Cr/C oranı üç iken M_7C_3 tipi karbürler oluşur ve $(Cr_5Fe_2)C_3$ karbürü yaklaşık %65 civarında Cr içerirken, $(Cr_2Fe_5)C_3$ karbürü yaklaşık %24 oranında Cr içerir (Şekil 4.9.).

Karbür yapıcı elementlerin bir kısmı M_7C_3 tipi karbürler oluştururken, kendi karbürlerini de oluştururlar. Ötektik altında, ötektik noktada ve ötektik üstümde farklı yapılarda bulunabilirler (şekil 4.10.).



Şekil 4.9. Cr/C, Fe/Cr ve karbür tipi ilişkisi[10]

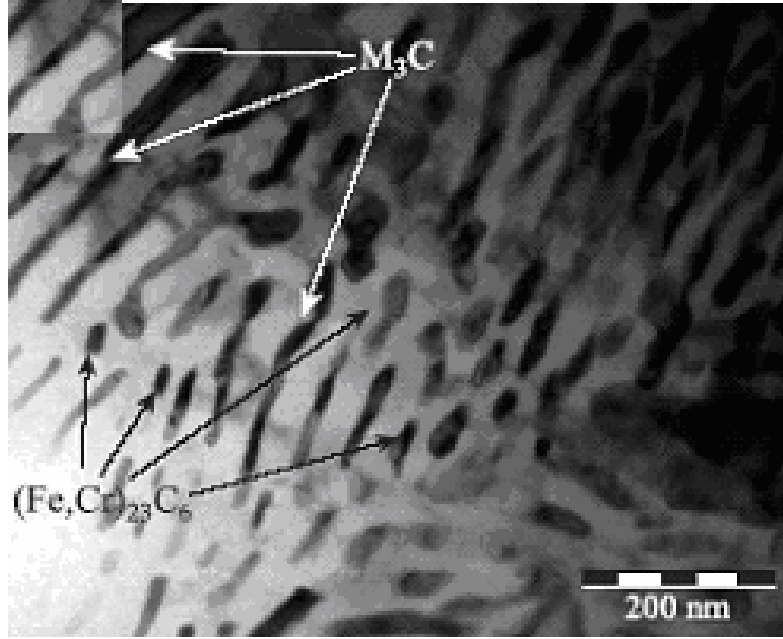


Şekil 4.10. M_7C_3 karbürünün ötektik altı (a), ötektik (b) ve ötektik üstü (c) yapılarındaki resimleri [24,19, 26,].

4.6. M_3C Karbürlerinin Özellikleri

M_3C karbürleri %6.7-6.9 C içerirler. Yoğunluğu $7.4\text{-}7.6 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı Ortorombik, yapısı plakaya benzer, sertliği 800-1100 (DPH) ve serbest enerjisi $(+1) - (-10) \text{ kJ/mol}$ dur. %1.5 Ni ve %5 Cr'a kadar Ni-Hard'ların çoğunda bulunmaktadır. Cr' u %17' ye kadar

çözümlendirebilir. Mo ve V gibi diğer metal atomları M_3C içinde sınırlı oranda çözünmektedir. Ötektik altı, ötektik ve ötektik üstünde farklı biçimlerde oluşurlar (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. M_3C karbürünün büyütülmüş yapısı [10,29].

4.7. M_2C (Mo_2C) Karbürlerinin Özellikleri

M_2C (Mo_2C) karbürü %5.9 C içerir. Yoğunluğu 9.1 gr/cm^3 , kristalografik yapısı ortorombik, yapısı bıçağa benzer, sertliği 1500 -1800 (DPH) ve serbest enerjisi (-25) - (-30) kJ/mol' dur[10].

Yüksek oranda Mo içeren dökme demirlerin östenit tane sınırında görülür. Mo dışında karbür oluşturan diğer alaşım elementleri bu tipte görülmemektedir. Daha çok Mo' e özgü bir karbür çeşididir (Şekil 4.12). Her ne kadar yüksek kromlu beyaz dökme demirlerdeki M_2C (Mo_2C) karbürü içerisinde az miktarda Cr bulunduğu düşünülse de bunların saf olduğu düşünülmektedir[26].



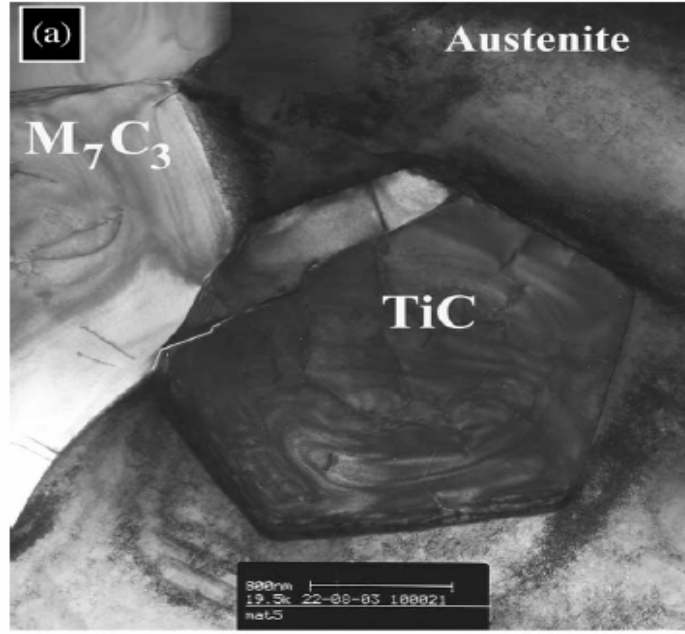
Şekil 4.12. M_2C karbürünün mikro yapı fotoğrafı[26].

4.8. MC Karbürlerinin Özellikleri

VC : VC %17-20 C içer. Yoğunluğu $5.6-7 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi), çubuğa benzer yapıya sahiptir, sertliği 2000-3000 (DPH) ve serbest enerjisi $(-40)-(-80) \text{ kJ/mol}$ dur. VC yanlış anlaşılan karbürlerden biridir. %4.5'lik alaşım seviyesinde ötektik karbür olarak görülür. Krom içeren dökme demirlerde VC %20'ye kadar Cr çözündürebilir[10].

NbC : NbC %11 C içerir. Yoğunluğu 7.8 gr/cm^3 , kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi), mercan veya taç yaprağına benzer yapıya sahiptir, sertliği 2000-2500 (DPH) ve serbest enerjisi $(-110)-(-140) \text{ kJ/mol}$ dur. NbC kristal yapısı içerisinde diğer alaşım elementlerini çok sınırlı oranda çözündürebilir. Östenit ve ferrit içerisinde sınırlı oranda çözünürlüğe sahiptir[10].

TiC : TiC %20 C içerir. Yoğunluğu 4.9 gr/cm^3 , kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi), hegzagonal kalın bloklara benzer yapıya sahiptir (Şekil 4.13.), sertliği 2000 – 3100 (DPH) ve serbest enerjisi -180 kJ/mol dur. TiC saf şekilde oluşur. Diğer alaşım elementlerini barındırmaz[10].



Şekil 4.13 Östenitik matris içerisinde TiC' ün mikro yapı fotoğrafı[26].

4.9. Fe – C – Cr Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı

Yüksek karbonlu Fe – C – Cr alaşımlarında katılaşma sırasında ötektik altı bileşimlerde ilk olarak ostenit dendritleri oluşur. Daha sonra bu dendritlerin etrafında ostenit M_7C_3 ötektiği oluşur.

Karbür yapısına giren elementler katılaşma sırasında ayrışır. Karbür yapıcı elementler karbürlerin içinde yer alırken silisyum gibi karbür yapısına girmeyen elementler ötektik karbür kenarlarında birikir. Fosfor ve kükürdün karbür yapısı içinde kısmen dağılması karbür ostenit ara yüzeyini zayıflatarak çatlak oluşmasına ve ilerlemesine sebep olabilir.

Griffing ikili karbürlerin oluşumunu (mikro yapıda M_3C karbürleri ile çevrili M_7C_3 karbürleri) %10-20 Cr ve %4.8-7.5 C içeren alaşım için belirlemiştir. İkili karbür yapısı üç adımda oluşan katılaşmanın sonucudur[5].

1. Adımda peritektik U_5, P_1 ile karşılaşınca kadar demir köşesinde hareket eder.
2. Adımda $L+C = M_7C_3$ reaksiyonu ile M_7C_3 karbürleri oluşur. Sıvı P_1' e gelir.
3. Adımda $L+C+ M_7C_3 = M_3C$ reaksiyonu oluşur.

Thorpe ve Chicco' ya göre Fe-C-Cr üçlü sisteminde %9.6 Cr, %3.44 C içeren alaşım için benzer ikili karbürler gözlenmiştir.

Jackson' a göre ise Fe-C-Cr sisteminde %10 Cr, %3.5 C içeren alaşımda katılaşma 4 adımda oluşur.

1. Adımda γFe oluşur (Şekil 4.2) $U_2 \longrightarrow U_3'$ e gelir.
2. Adımda $L = M_7C_3 + \gamma Fe$ oluşur.
3. Adımda $L + M_7C_3 = M_3C + \gamma Fe$ reaksiyonu oluşur ve bileşim U_3' e ulaşır.

4. Adımda $L = M_3C + \gamma Fe$ ledebüritik ötektik reaksiyonu oluşur.

Thorpe ve Chicco Ni-Hard IV (% 8-9 Cr , % 4-7 Ni , % 3.10 C, %1.4 Si, %0.50 Mn) ticari alaşımında ikili karbürlerin oluştuğunu gözlemişlerdir.

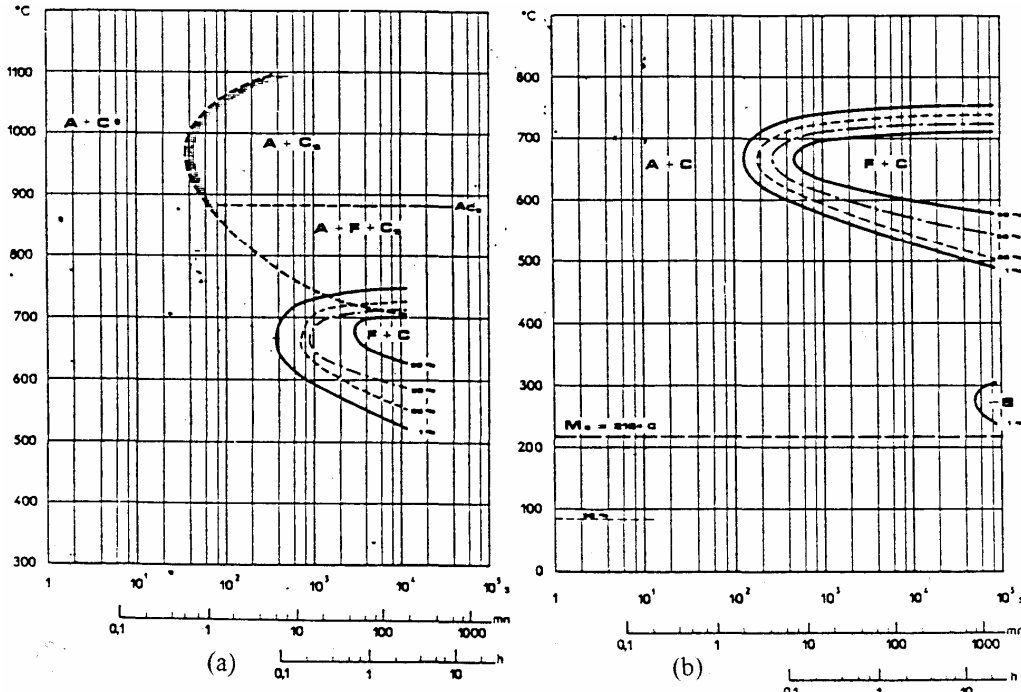
Bu iki bilim adamına göre hızlı soğuma oranı $L = M_7C_3 + \gamma Fe$ reaksiyonuna neden olur ve düşük krom içerikli M_7C_3 karbürleri oluşur. Bu durum sonradan M_3C karbürlerinin oluşumu için daha yüksek bir termodinamik kuvvet sağlar.

4.9.1. Fe – C – Cr Alaşımlarının Katı Hal Reaksiyonları

M_7C_3 ostenit bölgesindeki reaksiyonlar yüksek kromlu beyaz dökme demirlere uygulanan ısı işlemler açısından çok önemlidir. Döküm sırasında oluşan ostenit oda sıcaklığında yarı kararlı durumda varlığını sürdürebilir. Kalıntı ostenit beyaz dökme demirin aşınma direncini olumsuz etkiler. Bu nedenle kalıntı ostenit içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirlere ostenitleme ısı işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı kalıntı ostenitin karbon ve krom miktarını azaltıp oda sıcaklığına soğutulduğunda martensite dönüşümünü sağlamaktır. Bu; matrisin M_s sıcaklığını yükselterek sağlanır. Dökme demirlerde M_s sıcaklığı;

$$M_s = 561^\circ C - 475C - 33Mn - 21Mo - 17Cr - 17Ni$$

Formülü ile gösterilir. Bu denklemde görüldüğü gibi, M_s sıcaklığında en büyük düşüşü sağlayan element karbondur. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ostenitin yarı kararlı durumu karbona aşırı doymuşluğundan kaynaklanır. Ostenitleme işleminin amacı kalıntı ostenitin karbonu ve kromundan ikincil M_7C_3 karbürlerini çökeltirerek denge eğerine getirmektir. Döküm durumundaki malzemeyi ostenitleme işlemiyle A_3 sıcaklığının üstünde karbon ve kroma aşırı doymuş ostenit çözünerek M_7C_3 tipi karbürler çöker. Ostenit içinde ikincil M_7C_3 karbürlerinin çökmesi ise ostenitin bileşimi ve dönüşüm özelliklerini değiştirir. Şekil 4.14.' de şematik bir zaman – sıcaklık – dönüşüm (ZSD) diyagramı görülmektedir. Östenit içinde M_7C_3 karbürlerin çökmesi östenitin bileşimini ve dönüşüm özelliklerini değiştirir. Yeniden ostenitleme işleminden sonra, dengelenmiş östenitin perlit dönüşüm süresi daha uzundur. Fakat bundan da önemlisi martenzit dönüşüm oranı artmaktadır.



Şeki

4.14. Fe-C-Cr alaşımlarının ZSD diyagramı a.) döküm durumu b.) yeniden östenitleme işleminden sonraki durum. (Mataray, 1970)

4.9.2. M_7C_3 – Östenit Ötektiğinin Oluşumu

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ticari alaşımları genellikle ötektik altı bileşime sahiptir. Bu alaşımların katılaşmalarında ilk olarak östenit taneleri, daha sonra M_7C_3 -östenit ötektiği oluşur. Ötektik yapıdaki karbür dağılımı ve şekli ötektiğin miktarı ve bileşimine bağlıdır. Ötektik karbürün yapı içindeki oranı en az ise (%20' nin altında) ötektik karbürleri östenit tane sınırına ayrışır. Bunlar östenit tane sınırları boyunca uzayan levhalar ve östenit tane içinde beliren küçük çubuklar şeklinde görülürler. Ötektik oranı arttıkça karbür lamelleri östenit tanelerinin içine doğru uzanmaya başlar.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin, diğer beyaz dökme demirlere göre daha iyi tokluk özelliği sergilemesi M_7C_3 karbürlerinin, diğer beyaz dökme demirlerdeki M_3C karbürleri gibi sürekli ağ yapısı oluşturmamasından ileri gelmektedir. Bu nedenle ötektik yapının içindeki bu karbürlerin dağılımı ve boyutları yüksek kromlu beyaz dökme demirin mekanik özellikleri bakımından önemlidir. Ötektik karbürlerin dağılım ve şekilleri, metal döküm sıcaklığı, katılaşma hızı ve şartları gibi fiziki ortamdan kaynaklanan olaylar dışında metal bileşiminden de etkilenirler. Malzeme içindeki krom içeriği attıkça karbürlerin hacim küçülmesi artar ve buna bağlı olarak aşınma azalır. Beyaz dökme demirlerde M_7C_3 tipi karbürlerin malzeme içerisindeki yüzdesi şu bağıntı ile bulunabilir. % Karbür = $12,3(\%C) + 0,55(\%Cr) - 15,2$ (Rajagopal vd. 1992).

4.9.3. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde A_3 sıcaklığının üstünde sadece M_7C_3 karbürleri oluşur. $950^{\circ}\text{C} - 1030^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda ikincil karbürler için çekirdeklenme süresinin ortalama 20 sn civarında olduğu ve bütün reaksiyonun 4 – 6 saatte tamamlandığı tespit edilmiştir. Çökelme sırasında hacimde çok az daralma olur. Cr / C oranı arttıkça çökelme aralığı daha yüksek sıcaklıklara kayar. Başlangıçta ince çökelti karbürler etrafında ve tane sınırlarında gelişigüzel dağınık durumda bulunurlar. Daha sonra ostenit dendritleri içinde belirli bazı kristallografik düzlemler üstünde çökelme başlar.

Sıcaklık ikincil karbürlerin oluşum sürecinde en önemli etkidir. Karbürler etrafında gelişigüzel çökelme 950°C 'ın altındaki sıcaklıklarda başlar, daha sonra birçok ostenit tanesinde görülmeye başlar. Sıcaklık yükseldikçe gelişigüzel çökelti bölgesi azalır ve sonunda kaybolur, karbürlerin sayısı azalır ve kabalaşır. Karbür büyümesi ile beraber etkin çökelme düzlemi sayısı da azalır.

İkincil karbür çökmesi sadece izotermal ısıtma işlemiyle değil, sürekli soğuma sırasında da olabilir. Bu nedenle soğuma ne kadar yavaş olursa karbür çökmesi de o kadar fazla olur. Çökelme yoğunluğu; düşük Cr / C alaşımlarda yüksek Cr / C oranına sahip alaşımlara göre daha fazladır.

4.10. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Isıl İşlemi

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ısıtma işlemin amacı martenzitik matris içinde ikincil karbürler oluşturmaktır[32].

Yağda su verme işlemi çatlama riski oluşturduğu için su verme işlemi havada yapılır. Bu nedenle yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimi, kesite ve boyuta uygun olarak havada sertleşmeye izin verecek şekilde yapılmalı ve uygun soğuma hızı kullanılmalıdır. Havada sertleştirme, fanlar ve püskürtme teknikleriyle hızlandırılabilir.[37]

Yapıdaki yüksek krom karbürleri kararlı hale getirir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde alaşımsız dökme demirlerin aksine grafitleşme görülmez.

Katılaşma sırasında veya yüksek sıcaklıkta oluşan ostenit krom, karbon ve diğer alaşım elementlerine doymuş haldedir. Sıcaklık düşüştüğü birlikte krom ve karbon ikincil karbürler olarak çökeler ve mikro yapıdaki ostenit miktarı azalır. Bu durumda kararsız hale gelmiş ostenit soğuma hızına bağlı olarak perlit, beynite veya martenzite dönüşebilir. Bununla birlikte karbür çökmesi düzensizdir. Bu nedenle ortalama soğuma hızlarında bile oda sıcaklığında mikro yapıdaki kalıntı ostenit bulunur. Dolayısıyla dökümden sonraki yapı perlit, martenzit ve kalıntı ostenittir.

İnce kesitli malzemelerde ostenit, kalın kesitli malzemelerde ise perlit mikro yapıya hakimdir. Ancak döküm yapısında yine de perlit bulunur.

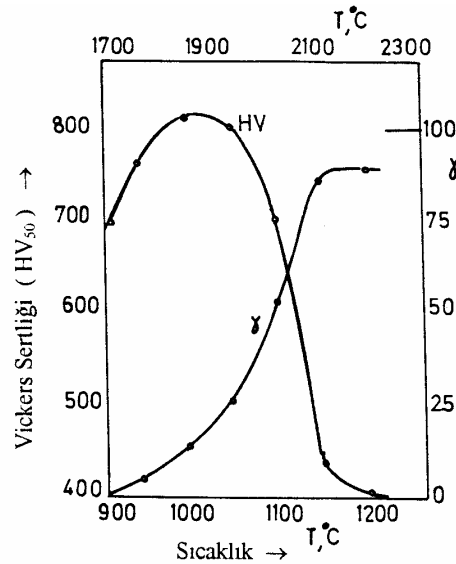
Bununla birlikte parça kesidi ve soğuma hızına göre bileşim ayarlanırsa tamamen ostenitik yapı elde edilebilir. Bu da; yüksek miktarda krom kullanılması ile molibden, nikel ya da bakır ilavelerinin yapılması anlamına gelir.

Aşırı miktarda kalıntı ostenit içermeyen, tamamen martenzitik mikro yapı elde etmek için dökümün 920 – 1000°C’da tutularak destabilize edilmesi gerekir. Bu esnada oluşan ikincil karbür çökmesi matrisin krom ve karbon içeriğini düşürür. Destabilizasyondan sonra yapılan soğutmada soğuma hızı perlit dönüşümüne yol açmayacak kadar yüksek ise ostenit martenzite dönüşebilir[32].

Alaşımının stabilize edilmesinden sonra sertleşebilirlik krom ve karbon içeriği ile belirlenir. Krom ve karbon birleşerek ötektik ve ikincil karbürleri oluşturur. Alaşımın toplam krom içeriğinden yalnız bir kısmı matris içinde kalarak sertleşebilirliği artırır. Karbon içeriği sabit tutularak krom içeriği arttırılırsa sertleşebilirlik artar.

4.10.1. Su Verme Sıcaklığı

Su verme sıcaklığı dönüşüm özelliklerini ve son durumdaki sertliği, ostenit içinde çözünen krom ve karbon miktarına bağlı olarak belirler. Sıcaklık arttıkça ostenit içindeki karbon çözünürlüğü artar. Karbon içeriğini arttırmak daha fazla setreleşebilirliğe ve su verdikten sonra daha sert martenzit oluşumuna yol açar. Su verildikten sonraki sertlik su verme sıcaklığına bağlı olarak artar. Krom, ferritten ostenite dönüşüm sıcaklığını arttırdığından krom içeriği arttıkça maksimum sertliğin elde edildiği su verme sıcaklığı artar. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ikincil karbür çözülmesinin sertliğe etkisi olduğu için, % 20 kalıntı ostenit sağlayan ostenitleşme sıcaklığı en yüksek sertliği sağlar. % 15 Cr içeren bir alaşımda maksimum sertliğin elde edildiği su verme sıcaklığı 940 – 970°C arasındadır. Bu durum şekil 4.15.’ de görülmektedir.

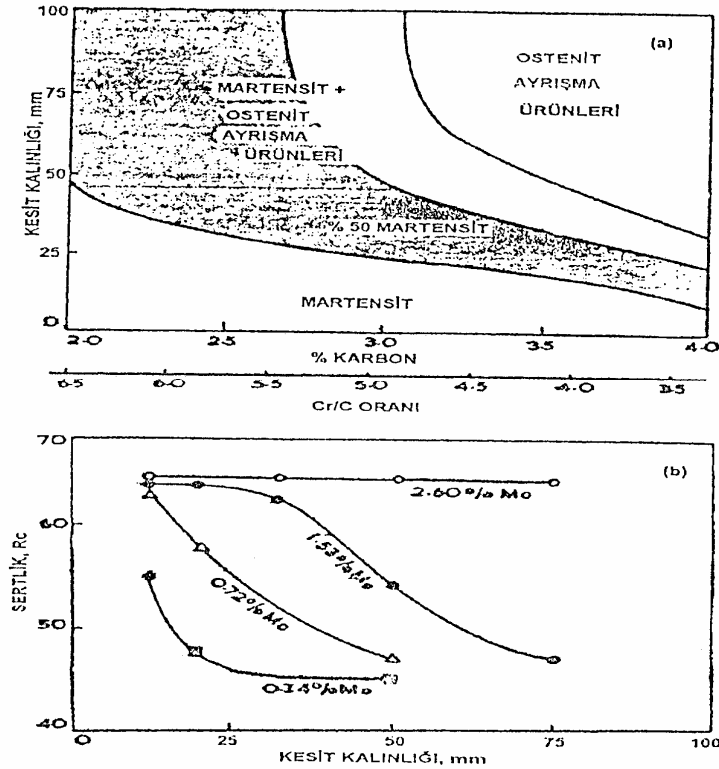


Şekil 4.15. Fe – C – Cr alaşımlarında ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik (HV) ve kalıntı ostenit (γ) oranının değişimi[10].

Çok miktarda kalıntı ostenit içeren dökme demirlerde ikincil sertleşme, su verildikten sonraki sertlikten daha fazla sertlik oluşturur. Maksimum ikincil sertleşme için temperleme sıcaklığı kalıntı ostenitin kararlılığına bağlıdır. İkincil sertleşmeden sonraki aşınma direnci genellikle su vermeden sonraki aşınma direncinden düşüktür. Bunun sebebi matriste önceden bulunan martensitin yumuşamasıdır[10].

Kesit kalınlığının Cr/C oranı ve molibden içeriğine göre mikro yapı ve sertlik üzerindeki etkisi Şekil 4.16.a ve b' de gösterilmektedir. Kalın kesitli parçalarda soğuma hızına bağlı olarak mikro yapıda perlit oluşması beyaz dökme demirin sertliğini çok fazla düşürmese bile, aşınma direncinde önemli bir düşüşe sebep olabilir.

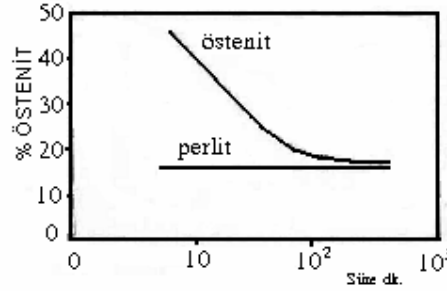
Mikro yapıdaki kalıntı östenit sertliği düşürür. Kalıntı ostenit miktarı destabilizasyon işlemi ile azaltılabilir. Kalıntı ostenitin kararlılığını azaltmak için bu fazın krom ve karbon içeriğini azaltmak gerekir. Bu; destabilizasyon süresini uzun tutmakla olur. Nikel veya bakır içermeyen alaşımlarda bu süre en az bir saattir. Molibdenin kalıntı ostenite etkisi çok azdır. Bununla birlikte % 0,5 – 1,0 Ni ve Cu içeren beyaz dökme demirlerde yeterli kararlılık, destabilizasyon sıcaklığında 6 saat ya da daha fazla durularak sağlanır. Sonuçtaki düşük karbonlu ostenite, nikel veya bakırsız alaşımların elde edilen yüksek karbonlu martenzitten daha düşük bir sertliğe ve aşınma direncine sahip olan düşük karbonlu bir martenzite dönüşür.



Şekil 4.16. Çeşitli kesitlerdeki yüksek kromlu demirlerde havada su vermeden sonra matris yapısına ve sertlik üzerine karbon ve molibden içeriğinin etkisi[6].

- % 12 – 14 Cr, % 1,5 Mo'de karbon içeriğinin etkisi
- % 12 – 14 Cr, % 3 C'da molibdenin etkisi

Homojenleştirme ısı işlem süresi arttıkça östenit miktarı düşer (Şekil 4.10.).



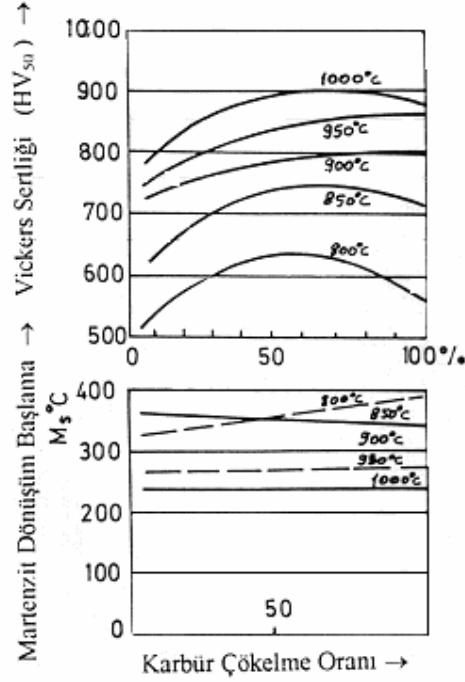
Şekil 4.17. Homojenleştirme ısı işleminin süresinin etkisi ve oda sıcaklığına soğuma üzerinde kalıntı östenit miktarında başlangıç matris yapısı[10].

Karışık martenzit ve perlit yapısı, önce ostenitik sonra da martenzitik matriste oluşan perlit dönüşümüyle ilgili diferansiyel değişikliklerden dolayı iç gerilmelere de sebep olabilir. Bu tipte karışık yapıları olan dökümlerin hem aşınma direnci hem de kırılma direnci azdır.

4.10.2. Martenzit Dönüşümü

Martenzit dönüşüm süreci ikincil karbür çökmesi ile ilgilidir. Daha önce belirtildiği gibi M_s sıcaklığı ostenitin bileşimine bağlıdır. İkincil karbürlerin çökmesi ostenitin karbon ve krom oranını azalttığı ve M_s sıcaklığı ile birlikte M_f sıcaklığını yükselttiği için martenzit dönüşüm oranı artar. M_s ve M_f sıcaklığı ostenitleme sıcaklığı düştükçe azalır. Bu azalma matrisin sıcaklık arttıkça karbon ve krom bakımından gittikçe fakirleştiğini gösterir. Bu olay daha önce incelenen Fe – C – Cr sistemi denge diyagramlarından beklenen durumdur.

%10 karbür çökme oranına kadar, martenzit dönüşüm oranı yeniden ostenitleme sıcaklığından bağımsızdır. Bunun nedeni, M_s sıcaklığında etkin olan elementin en düşük karbon alanı olmasıdır.



Şekil 4.18. Karbür çökelme oranı- M_s -Sertlik ilişkileri.

Şekil 4.18’ de karbür ve martenzit dönüşüm oranı ile sertliğin ilişkisi daha açıkça görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi, M_s sıcaklığı karbür dönüşüm oranından bağımsızdır[5].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin matrisleri katılaşma sırasında oluşan ayrışma nedeni ile homojen bir bileşime sahip değildir. Martenzit dönüşüm oranı karbür çökelme oranı ile birlikte artar.

Yüksek sıcaklıklarda karbür çökelme oranının artması ile oluşan sertlik düşüşü kalıntı östenit oranının artışı ile ilgilidir. Düşük sıcaklıklardaki düşüş, martenzitteki karbonunun azalması nedeniyledir. Matrisin sertliği, martenzit dönüşüm oranı oluşan martensitin sertliğine bağlıdır. Martensitin sertliği de içerdiği karbon miktarına bağlıdır.

4.10.3. Tavlama ve Temperleme

Yüksek sertlik ve karbür içeriği nedeniyle beyaz dökme demirlerin işlenmesi çok zordur. Ancak, yüksek krom ve molibden içeren beyaz dökme demirlerin işlenebilirliğini arttırmak için tavlama yapılabilir. Tavlama işleminin amacı martenzit veya ostenit içermeyen perlitik matris elde etmektedir.

Genellikle yüksek sertleşebilirliğe sahip beyaz dökme demirler için tavlama prosesi oldukça uzun bir ısı işlemi kapsar.

Tablo 4.5.'te bazı yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlere ait ısııl işlem şartları belirtilmektedir.

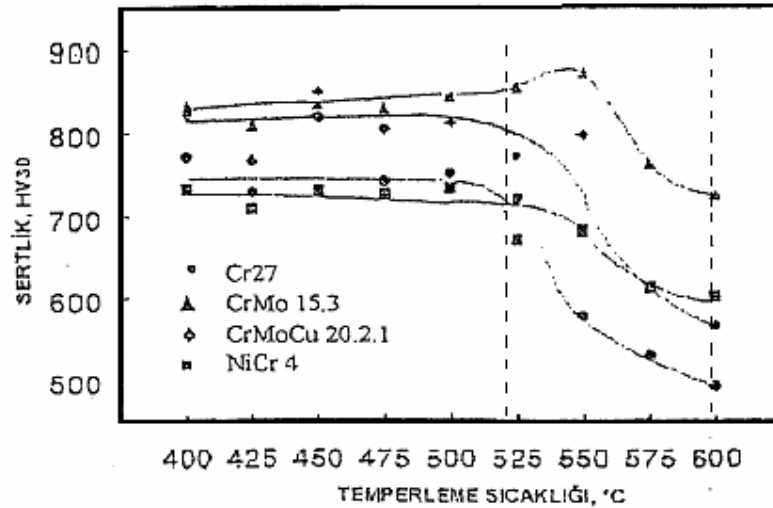
Tablo 4.5. Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerin ısııl işlem şartları [6]

Sınıf (ASTM)	Sertleştirme			Temperleme Sıcaklığı (°C)
	Sıcaklık (°C)	Su Verme Süresi	Su Verme Ortamı	
A 532-67				
15-3	920-960	½-1 saat	Hava	200-260
15-2-1	920-960	4 saat min.	Hava	
20-2-1	950-1000	6 saat min.	Hava	

Bu işlem aşağıdaki şekilde yapılır:

- 930 – 980°C’da 2 saat bekletme,
- 820°C’a kadar 60°C/saat hız ile kontrollü soğutma,
- 700-720°C’a kadar 10-15°C/saat hız ile kontrollü soğutma,
- 700-720°C’da 4 – 20 saat bekletme.

Şekil 4.19.’de temperleme sıcaklığındaki artış ile sertlikteki değişim görülmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde yaklaşık 500 °C’ ye kadar yapılan temperleme işlemlerinde çok fazla bir değişim görülmez. Yaklaşık 500 °C’ den sonra temper gevrekliğinden dolayı sertlikte ani bir artış ve yaklaşık 550 °C’ den sonra ani bir düşüş görülmektedir. Bu sıcaklık alaşım elementlerinin miktarına göre küçük oranlarda değişim gösterebilir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.19. Çeşitli yüksek kromlu beyaz dökme demirler için sertlik (HV30) - temperleme sıcaklık eğrileri.

Tavlamadan sonra sertlik 350 – 450 HB arasında olur. Bu durum dişli testere ile kesme de dahil olmak üzere işleme operasyonlarına imkân tanır. Ötektik krom karbürler tavlama işleminden etkilenmedikleri için işlenebilirliği etkileyen başlıca faktör karbon içeriğidir. En kolay işlenebilir sınıf 15-3 LC tipidir. Karbon içeriği % 3'ün üzerine çıktığında işleme operasyonu zorlaşır.

5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ

5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı

Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 50320’de aşınma; “kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekildeki bir aşınma tanımı da aşınma ve erozyonla ilgili terminolojiyi içeren ASTM G-40-93 standartlarında verilmektedir.. Bu tanımlamalara göre makine parçalarının yüzeylerinin taşlanması, parlatılması veya elemanların birbirlerine alıştırılması işlemlerini aşınma olayı olarak incelememek gerekir. Çünkü bu olaylardaki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek yapılan bir işlem olduğundan bunlar birer aşınma olayı olarak değil bir işleme veya talaşlı şekillendirme olayı olarak kabul edilmelidir.

Aşınma türlerinden biri olan abrasiv aşınma yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilir ve sistemde hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir.

Abrasiv aşınma bir gerilim sonucu oluşur. Gerilimlerin başlıca kaynağı sertlik ve hızdır. Metal olmayan malzemelerin sebep olduğu aşınma genellikle çizilme şeklindedir.

Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasiv aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir.

Abrasiv aşınma hızı malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Malzeme açısından abrasiv aşınmayı azaltmak için;

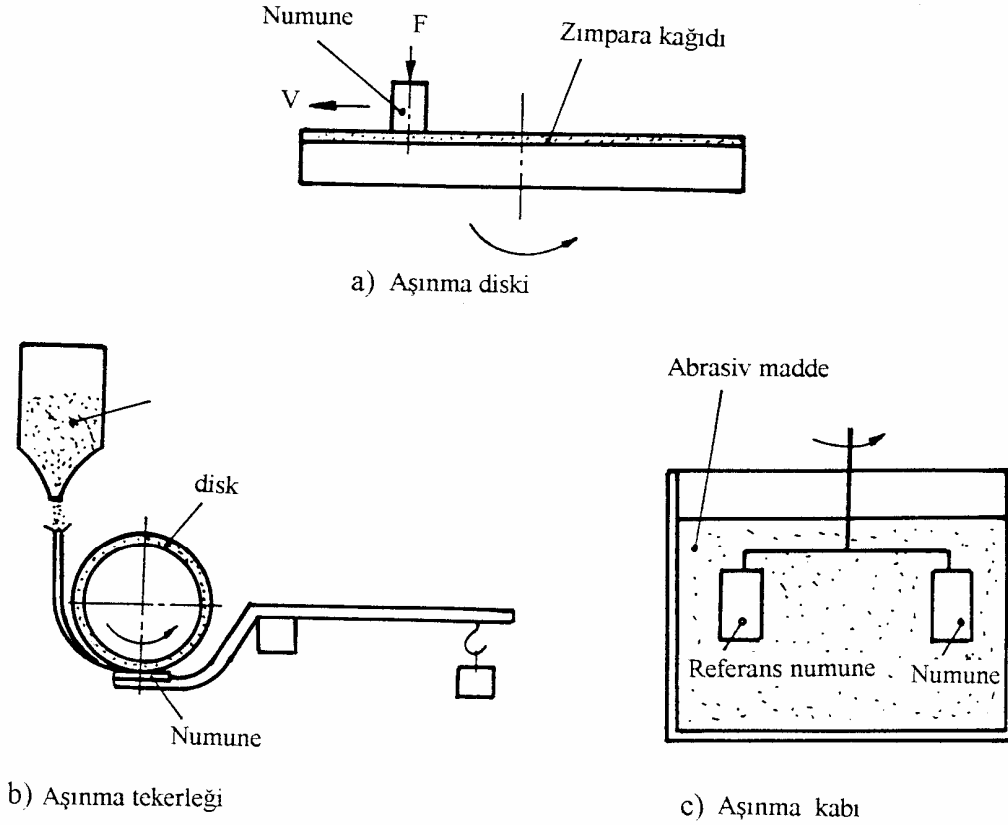
- Daha sert alaşım kullanmak,
- Sertlik arttırmak amacıyla ısıtılma işlemi uygulamak,
- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,

Tavsiye edilir. Bu önlemlerle abrasiv aşınma hızını azaltmak mümkündür.

5.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma, endüstrinin hemen hemen her alanında karşılaşılan önemli bir problemdir. Makine sanayinde makine parçalarının aşınması, maden sanayinde madenlerin öğütülmesinde kullanılan bilyaların ve öğütme çubuklarının aşınması birkaç örnek olarak verilebilir. Aşınmanın yarattığı ekonomik kayıpları asgari düzeye indirebilmek amacıyla sürekli araştırmalar yapılmaktadır.

Aşınmaya maruz kalan parçalar, aşınma direnci yüksek malzemeler olarak üretilir ve kullanılırlar. Aşınma deneyleri için laboratuarlarda çok değişik aşınma deney cihazları kullanılmaktadır. Abrasiv aşınma test cihazlarının bazıları Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test yöntemleri.

Aşınma deneylerinde kullanılan ölçüm yöntemleri şunlardır;

- Ağırlık farkı metodu
- Kalınlık farkı metodu
- İz değişim metodu
- Radyoizotop metodu'dur.

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntem ağırlık farkı metodudur. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçme yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} hassasiyeti bir terazi yardımıyla yapılır.

5.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin artan uygulama alanları ve Pazar payı üstün darbe direnci ile kombine edilmiş aşınma direncine dayanmaktadır. Ayrıca bazen tavlandıktan sonraki işleme imkânı da bir avantajdır.

Tablo 5.1’de çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansları, tokluklarına dayanılarak verilmektedir.

Tablo 5.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansı[6].

MALZEME	TOKLUK SIRASI	BAĞIL AŞINMA KAYBI	
		OYMA AŞINMASI	ÖĞÜTME AŞINMASI
Östenitik Mn Çeliği (% 12 Mn)	1	0,34 – 0,19	138 - 142
Martenzitik az Alaşımlı Çelik (% 0,3 – 0,6 C)	2	0,28 – 0,15	126 - 114
Östenitik Mn Çeliği (% 6 Mn - % Mo)	3	0,25 – 0,17	114 - 120
Cr / Mo Çeliği (% 0,7 C), Su verilmiş+Temp.	4	-	126 - 130
Martenzitik 6 Cr / 1 Mo Çeliği (% 1 C)	5	0,1	102 - 97
Martenzitik Yüksek Cr / Mo’lu Beyaz D.D.	6	0,08 – 0,035	85 - 90
Martenzitik 26 Cr’lu Beyaz D.D.	7	0,17 – 0,09	96 - 100
Martenzitik Az Alaşımlı Cr / Ni D.D.	8	-	105 - 116
Perlitik Çil Uygulanmış D.D.	9	0,4	185 - 200

Mikro yapıdaki karbürlerin hacim oranı ve morfolojisi çok önemlidir. Genellikle mikro yapıdaki karbür oranı arttıkça aşınma direnci artmaktadır. Bununla birlikte, matris çatlayan ve deforme olan karbürleri yeterli kuvvetle yerinde tutarsa karbürler aşınma direncini etkiler.

Beyaz dökme demirlerin aşınmasında çeşitli mekanizmalar rol oynayabilir. Bu mekanizmaları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Sadece matris ya da matrisle birlikte karbürlerin de kesme ile aşınması,
- Matrisin yorulma sonucu aşınması,

- Matrisin plastik deformasyon sonucunda aşınması,
- Karbürlerde kesme ya da plastik deformasyon sonucu mikro çatlaklar oluşması ve çatlayan karbürlerin kopması,
- Karbürlerin yorulma nedeniyle çatlayıp kopması

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yüzeyindeki karbürlerin abrasiv aşınma şartlarına karşı davranışı aşınma yüzeyi ve aşınma yönüne göre karbürlerin oriyantasyonuna bağlı olarak farklılık gösterir. Karbür çubuklarının uzun eksenini aşınma yüzeyine paralel olduğunda, yüksek kromlu beyaz dökme demirler, karbürlerin uzun eksenini yüksek gerilmeli abrasiv aşınma şartları altında aşınma yüzeyine dik olduğu durumdakinden daha yüksek aşınma direncine sahip olurlar.

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler bileşimindeki krom içeriği nedeniyle iyi bir korozyon direncine sahiptirler. Mikroyapıdaki sert ötektik karbürler mükemmel aşınma direncinin nedenidir. Molibden ise perlit oluşumunu önleyerek ve sertleşebilirliği artırarak aşınma direncine katkıda bulunur.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere Nb, B, Ce, La, Nd gibi elementler alaşımlayıcı olarak katıldıklarında, dökme demirin aşınma davranışını etkilerler.

Son derece sert karbürler oluşturduğundan ve yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin (% 15 Cr) matris sertliğini arttırmasından dolayı niyobyum ilavesi yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncini arttırır. Niyobyum ötektik noktayı sağa kaydırır, bu yüzden demir gevrek hiper – ötektik karbürler oluşturma tehlikesi olmaksızın yüksek bir karbon içeriğine sahip olabilir. NbC'ün morfolojisi blok-çengel şeklindedir. Bu şekildeki karbürler matris içinde sıkıca tutunabilirler.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere (% 28 Cr) bor ilavesi; karbürlerin hacim oranını arttırır ve karbürleri daha sert yapar, döküm halinde karbürleri kalınlaştırır ve martensit oluşumunu iletir. % 0,2 B ilavesi, 1050°C'dan havada su verme şartlarında iki elemanlı abrasiv aşınma durumunda aşınma direncine önemli miktarda yardım eder.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere % 0,3'e kadar titanyum ilavesi yapıdaki VC ve NbC'lerin şeklini değiştirir. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince Tic Partikülü çökeler. Bu pek çok çekirdeklenme serbest dendritik, Çubukumsu veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesini bastırır.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Ce, La ve Nd elementlerinin içeriği arttırıldığında, M_7C_3 karbürlerinin hacim oranı azalmasına rağmen, bu elementlerin içeriği % 0,26'yı aşmamak şartıyla aşınma direncini arttırdığı bildirilmektedir.

5.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin abrasiv aşınma özelliklerini başlıca iki faktör etkiler. Bunlar beyaz dökme demirin matris yapısı ve bu matriste yer alan karbürlerin yapısıdır.

5.4.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

Karbür miktarı arttıkça, darbe şartları olmadığı durumda aşınma direnci de artar. Aşındırıcının sertliği de karbür etkisi bakımından önemlidir. M_7C_3 karbürlerinin sertliğinden (1200-1800 HV) daha düşük aşındırıcılar kullanılırsa en yüksek aşınma mukavemetinin %40-50 karbür oranda elde edildiği, fakat daha sert olursa bu oranın %30 civarına düştüğü saptanmıştır. Pearce çalışmalarında, plaka şeklinde olan M_3C karbürleri ile ince M_7C_3 karbür çubuklarının kırılmadan aşınma yönünde plastik deformasyona uğradıklarını gözlemlemişlerdir (Dikeç 1971). Diğer bir çalışmada da karbürler arası uzaklık azaldıkça veya östenit taneleri küçüldükçe aşınma mukavemetinin arttığı gözlemlemiştir.

Birbirine yakın yerleşmiş karbürler, matrisin desteklenmesi ve matrisin plastik deformasyon kabiliyetinin azaltılması bakımından abrasiv aşınma direnci üzerine faydalı bir etkiye sahiptir. Örneğin karbürlerin abrasivlere direnç gösterecek kadar sert olduğunu düşünürsek ve abrasivlerin, komşu iki karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük, sert ve keskince olduğu kabul edilirse malzemenin aşınma mekanizması, büyük oranda matris fazı ile kontrol edilecektir. Eğer matris fazı kolayca abrasiv aşınmaya maruz kalıyorsa ve karbür/matris ara yüzeyindeki bağ zayıf ise karbürlere destek azalacaktır. Diğer bir deyişle karbür/matris bağları zayıfsa ve ara yüzeyde yerel gerilmeler çatlak başlangıcına sebep olursa, partikül kopması kaçınılmaz olur.

Diğer taraftan eğer abrasiv partiküller komşu iki karbürün arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızına bağlı olacaktır. Böyle bir durumda karbür ve abrasivin sertliği, karbür boyutu, karbür hacim oranı, abrasiv tipi, abrasivin köşelilik durumu daha az önemlidir (Çelik, 1991).

5.4.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris, sert ötektik M_7C_3 tipi karbürleri yerinde tutar. Matris aşınırsa desteksiz kalan karbürler gerilmeler altında kırılır. Kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturur. Bu durum özellikle ferritik matriste etkin olmaktadır.

Gundlach (1993) ve Diesburg (1974), tarafından (%17,5 Cr-%3C) yüksek gerilmeli şartlarda beyaz dökme demirlerin aşınma direnci matris tarafından ötektik karbürlere verilen desteğin seviyesine bağlı olduğunu; martensitik matrisli yapılar, ostenitik veya perlitik matrisli yapılara göre daha büyük aşınma direnci verdiğini ortaya koymuşlardır. Benzer görüşler diğer araştırmacılar tarafından da ileri sürülmüştür[32].

Perlitik matris en düşük aşınma direncine sahip olduğu için beyaz dökme demirlerde perlitik yapı istenmez.

Matrisin aşınma direnci, aşınma sırasındaki gerilmelere bağlıdır. Matrisin bileşimindeki karbon arttıkça mikrosertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci artar. Ancak, düşük gerilmeli aşınma ortamlarında sertlik belli bir değere geldikten sonra mikrosertlik artışı aşınma direncini etkilemez.

Aşınmaya sebep olan gerilmeler yüksek olursa martensitik yapı ostenitik yapıya göre iki üç kat daha iyi aşınma direnci gösterir. Martensitik yapı ostenitleme işlemi ile sağlandığı için bu işlem sırasındaki reaksiyonlar martensitin yapısı açısından önemlidir.

Ms sıcaklığını aşırı düşürecek bir işlem martensitik karbonunu azaltıp sertliğini düşüreceği gibi aşınma direncini de düşürür. Ms sıcaklığı ile beraber Mf sıcaklığı da düşeceği için mikroyapıdaki kalıntı ostenit miktarı artar, sertlik düşer. Yüksek gerilmeler altında ostenit martensite dönüşerek hacimsel genleşmelerin oluşmasına ve bunun sonucu oluşan gerilmeler sebebiyle mikro çatlaklara yol açar.

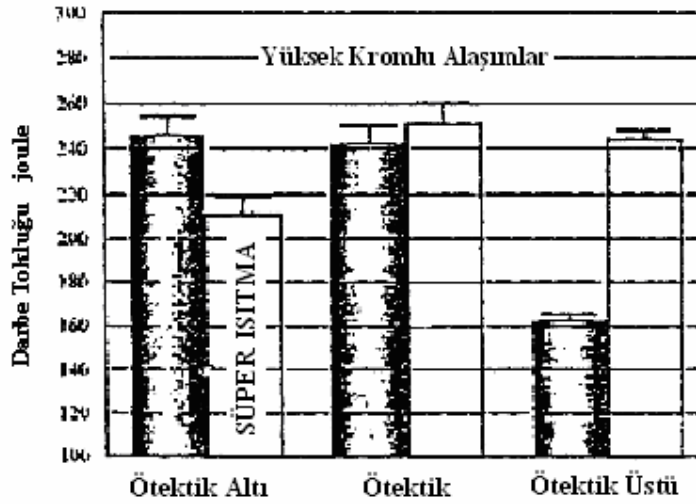
6. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde darbe testi çok şey ifade etmemektedir. Çünkü darbe enerjisi sürtünme ve kırılma esnasındaki parçaların ayrılması ile açığa çıkan enerjiye eşdeğerdir. Ancak AFS özel Fe komitesi tarafından hazırlanan büyük boyuttaki (50x50x180mm) (5-D) darbe çubukları darbe direncinin tayininde başarılı olduğunu ve bu çubukları kullanarak farklı ısı işlemli, farklı karbür yüzdesine sahip ve farklı matristeki dökme demirlerin darbe dirençlerini iyi bir şekilde tespit edildiğini savunmuşlardır[10].

Çentikli veya çentiksiz numunelere yapılan darbe deneyleri yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin, az alaşımlı beyaz dökme demirlerden daha tok olduğunu gösteren bir dağılım aralığı ortaya çıkarmaktadır. Mesela 30 mm.' lik çentiksiz izod deney çubukları az alaşımlı beyaz dökme demirde 22 -58 joule darbe enerji verirken, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirde 52 – 87 joule darbe enerjisi vermektedir. Karbon miktarı artışı darbe direncini düşürür.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm sıcaklığının üzerinde bir ısıtma (süper ısıtma) yapıldığında, darbe tokluğunda değişimler gözlenmiştir. Süper ısıtma, ötektik altı alaşımlarda olumsuz bir etki oluştururken, ötektik üstü alaşımlarda çok iyi sonuçlar vermiştir. Ötektik alaşımların darbe tokluğunu ise çok az arttırdığı tespit edilmiştir[10].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü için süper ısıtmaya karşı darbe tokluğundaki değişim Şekil 6.1' de verilmektedir.

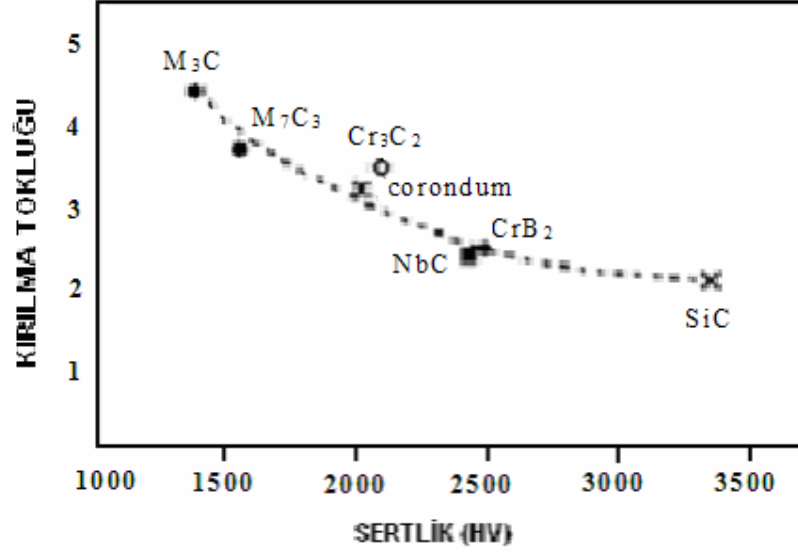


Şekil 6.1. Darbe tokluğu üzerinde döküm süper ısıtmanın etkisini gösteren 5x5x18cm boyutlarındaki döküm çubuklarının darbe tokluğu verileri [10].

Tokluk özellikle kırma ve öğütme işlemlerinde kazaları önleyici bir faktör olduğundan çok önemlidir.

Son yıllarda kırılma tokluğu ölçümü yüksek kromlu beyaz dökme demirlere başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Karbon artışı ile martenzitik beyaz dökme demirlerin kırılma tokluğu azalır. Ayrıca yapı içerisindeki karbür çeşidi de kırılma tokluğuna etki eden faktörlerden biridir[27] . Sertlik

ve kırılma tokluğu arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Şekil 6.2.' de bazı karbür çeşitlerinin sertliğe bağlı kırılma toklukları verilmiştir.



Şekil 6.2. Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki [27].

7. DENEY ÇALIŞMALARI

7.1 Deney Numunelerinin Elde Edilmesi ve Kullanılan Malzemeler

Numuneler 10x10x50 mm boyutlarında alphaset reçineli kumda kalıplanıp dökülmüştür. Kullanılan hammaddeler; çelik hurda, ferro-alyajlar ve aşılایıcıdır. Her dökümde sabit büyüklükte pota kullanılmıştır. Potaların alabildiği sıvı metal miktarı bir terazide tartılarak belirlenmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 7.1 de verilmiştir. Numuneler ötektik üstü yüksek kromlu beyaz dökme demir olarak üretilmiştir. Numunelere TiBAI (R=10 mm, h = 20 mm) aşılایıcısı, sıvı metali potaya almadan önce pota dibine bırakılarak ilave edilmiştir. Aşılama ilavesi iki farklı kimyasal kompozisyona uygulanmış ve bu ilaveler ile TiBAI (%5Ti -%1B - %94Al) aşılایıcısının matris ve karbür morfolojisi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 7.1. Numunelerin Kimyasal Kompozisyonları ve Uygulanan Isıl İşlemler.

NO	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%S	%P	%TiBAI	Isıl işlem
N1	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	-	-
N2	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	-	1000 °C, 1 saat
N3	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	-	1000 °C, 2 saat
N4	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	1	
N5	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	1	1000 °C, 1 saat
N6	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	1	1000 °C, 2 saat
N7	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	2	
N8	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	2	1000 °C, 1 saat
N9	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	2	1000 °C, 2 saat
N10	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	3	
N11	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	3	1000 °C, 1 saat
N12	4,21	0,64	0,7	17,2	2.51	0,039	0,035	3	1000 °C, 2 saat
N13	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	-	-
N14	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	-	1000 °C, 1 saat
N15	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	-	1000 °C, 2 saat
N16	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	1	-
N17	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	1	1000 °C, 1 saat
N18	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	1	1000 °C, 2 saat
N19	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	2	-
N20	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	2	1000 °C, 1 saat
N21	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	2	1000 °C, 2 saat
N22	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	3	-
N23	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	3	1000 °C, 1 saat
N24	4,22	0,85	0,57	23,9	0.071	0,034	0,038	3	1000 °C, 2 saat

7.2 Isıl İşlemler

Uygulanan ısıl işlemler için sabit sıcaklık seçilmiştir. Sıcaklık 1000 °C' ye çıkarılıp fırın içerisinde bekleme süresi 1 ve 2 saat olarak değiştirilmiştir. Daha sonra numuneler fırın içerisinden alınıp kendi hallerinde soğumaya bırakılmıştır. Isıl işlem farklı kompozisyonlardaki tüm numunelere

uygulanmıştır. Her numuneden döküm sonrası yapı referans alındından bu numuneler ısıt işleme tabi tutulmamışlardır.

7.3 Metalografik Çalışmalar

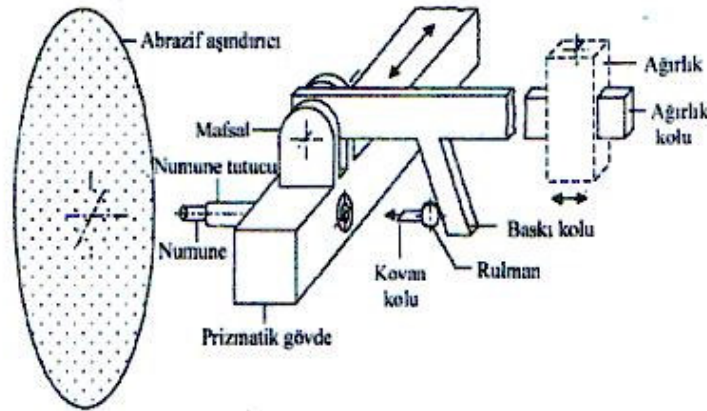
Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve taramalı elektron (SEM) mikroskoplarında yapılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde fazların ebat ve dağılımları, kimyasal kompozisyonları ve oranları incelenmiştir. Faz ve karbürlerin tayini için matris ve karbürlerden analizler alınmıştır. Numuneler metalografik hazırlık aşamasından geçirilmiş ve pikral (3 gr FeCl_3 , 15ml HCP, 100 ml H_2O) ile dağlanmışlardır. Ayrıca aşınma ve darbe deneyi sonrası yüzey görüntüleri elektron mikroskopuyla tespit edilmiştir.

7.4 Sertlik Deneyleri

Sertlik deneyinde numunelerin döküm ve ısıt işlem sonrası yüzey sertlikleri en az 3 ölçüm alınarak ortalama değerleri Rockwell C cinsinden ölçülmüştür.

7.5 Aşınma Deneyleri

Aşınma deneylerinde üç farklı yük (10N, 20N ve 30N) kullanılmıştır. Deney 100 mm² lik sabit yüzey alanına sahip numunelere uygulanmıştır. Aşındırıcı olarak 180 mm çapındaki taşlama taşı kullanılmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları deney esnasında 10⁻⁵ hassasiyetli terazide tartılarak tespit edilmiştir. Aşınma deney düzeneği Şekil 7.1 de verilmiştir. Bir baskı kolu yardımı ile ağırlık kolundaki yük numuneler üzerine aktarılmıştır. Bu düzenek bir tornaya montajı yapılarak aşındırıcının hareketi sağlanmıştır.



Şekil 7.1. Aşınma deney düzeneği[4].

7.6. Çentik Darbe Deneyi

Darbe deneyinde 10x10x50 mm boyutlarında V-çentikli numuneler hazırlanmıştır. Numunelerden elde edilen sonuçlar Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

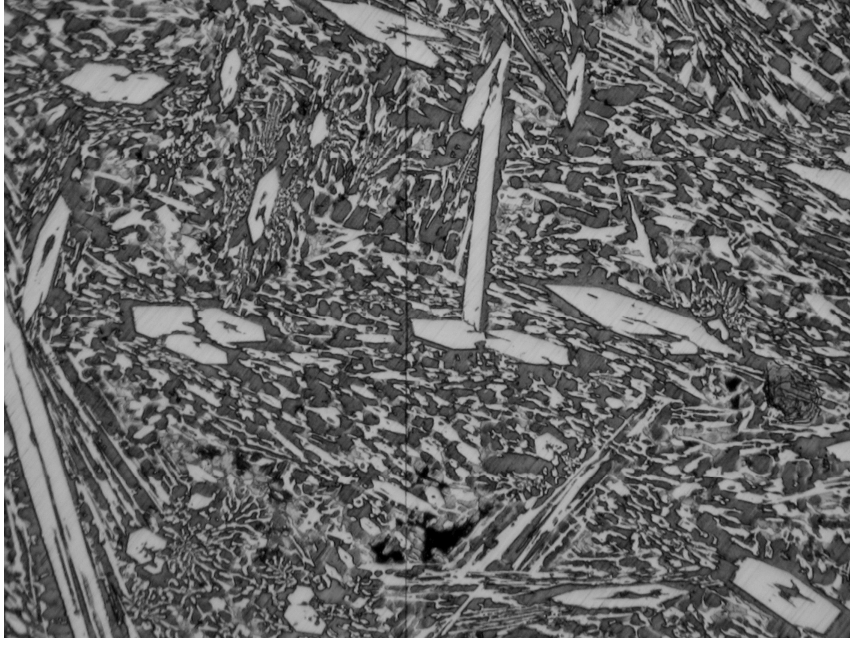
laboratuvarlarındaki Darbe Deney cihazında tespit edilmiştir. Numunelerin kırılma yüzey görüntüleri elektron mikroskobunda incelenmiş ve darbe testi sonuçları kısmında irdelenmiştir.

8. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

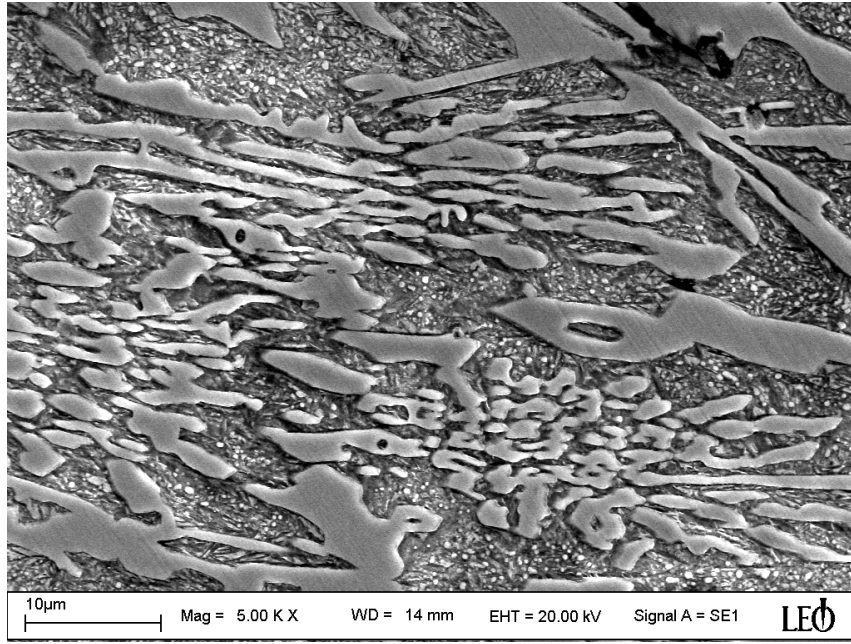
8.1. Metalografi Sonuçları

Tüm numuneler, 10x15 optik mikroskop ve x5000 taramalı elektron mikroskobu büyütmeleri ile elde edilen görüntüleri bu bölümde verilmiş ve irdelenmiştir. Dağlanmış numunelerin her biri öncelikle optik mikroskopta incelenmiştir. N1 numunesinin mikro yapı görüntüleri Şekil 8.1 de verilmiştir.

N1 numunesine ait mikro yapı fotoğrafı Şekil 8.1 de ve aynı numuneye ait karbür ve matris kimyasal konsantrasyonları tablo 8.1 de verilmiştir. Fotoğraflar optik mikroskopta 150 büyütme ve elektron mikroskobunda 5000 büyütme altında çekilmiştir. Döküm sonrası Mo ilaveli ve aşılایıcı kullanılmayan N1 numunesine ait mikro yapı kromca zengin M_7C_3 ötektik karbürler ve östenit matris içerisinde (boyutları $1\mu m$ 'nin altında) çökelmiş ikincil karbürlerden oluştuğu görülmektedir. Döküm sonrası dentritik yapının mikro yapıya hakim olduğu görülmektedir. N1 numunesine uygulanan $1000^\circ C$ 'de 1 ve 2 saatlik ısı işlem ile mikro yapıdaki değişim sırasıyla Şekil 8.2 ve Şekil 8.3 de gösterilmektedir. Aynı numunelere ait EDS analizleri Tablo 8.2 ve Tablo 8.3 de sunulmaktadır.



(a)

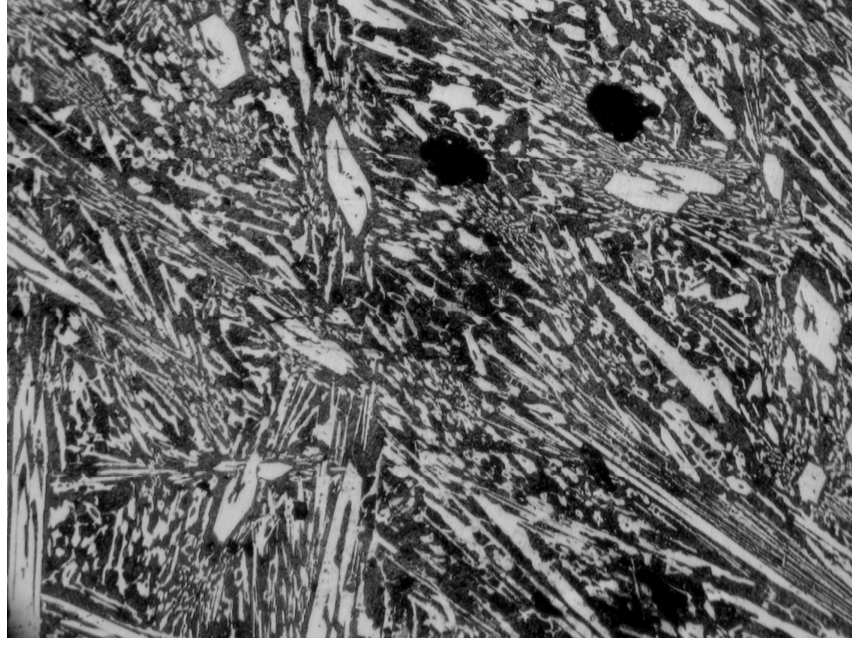


(b)

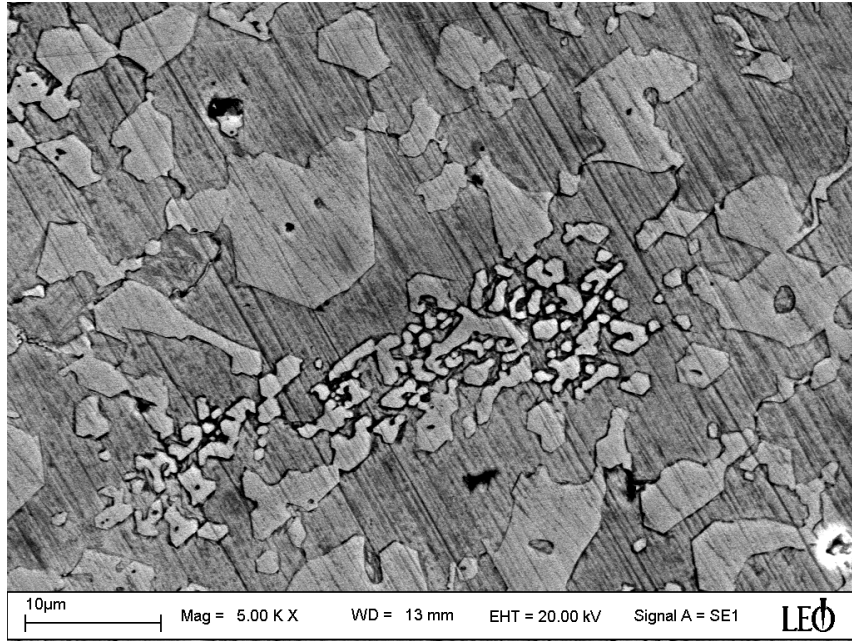
Şekil 8.1. N1 numunesi, a) 10x15, b)SEM x5000

Tablo 8.1 N1 Numunesine Ait Karbür ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	54,42	31,94	6,4	4,6	0,29	2,03	0,02	0,3	4,990625	1,70382
MATRİS	86,27	4,1	4,44	1,15	0,16	0,66	0,84	2,37	0,923423	21,04146



(a)



(b)

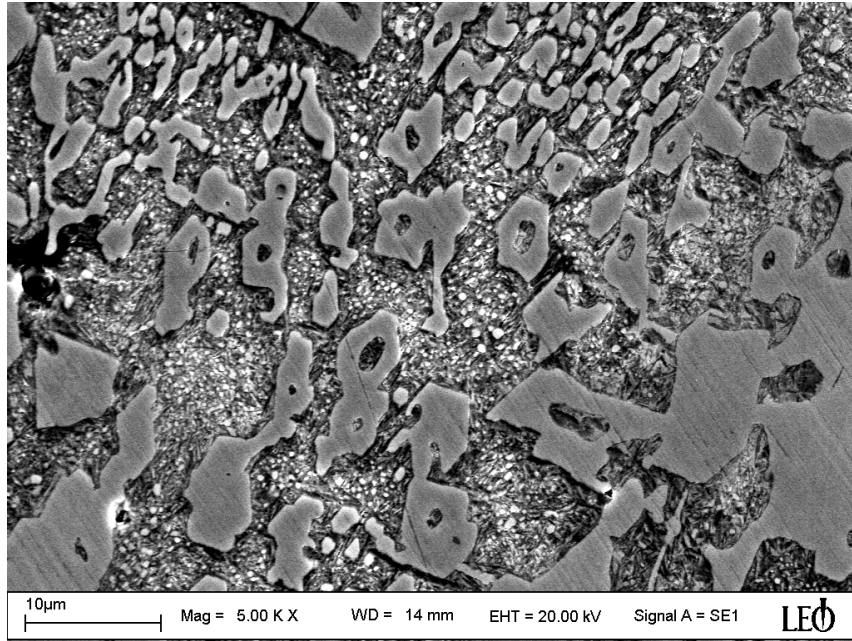
Şekil 8.2. N2 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.2 N2 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	50,3	38,72	6,35	1,73	0,28	2,22	0,03	0,38	6,097638	1,29907
MATRİS	89,98	7,01	4,03	0,88	0,24	0,88	0,56	2,42	1,739454	12,83595



(a)



(b)

Şekil 8.3. N3 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.3 N3 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

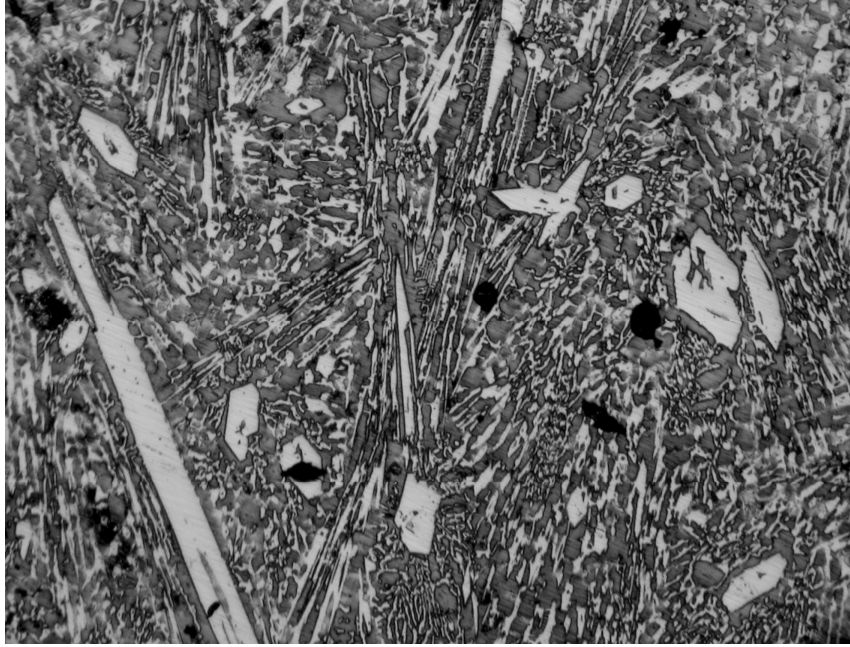
YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	47,84	40,8	6,48	1,79	0,29	2,39	0,03	0,38	6,296296	1,172549
MATRİS	84,74	5,72	5,4	1,05	0,15	0,73	0,66	1,56	1,059259	14,81469

Yapılan ısıt işlemler sonrası dendritik yapının bozulduğu, karbürlerin ağ yapısının kesintiye uğradığını ve birincil karbürlerin küçülüp ikincil karbürlerin büyüdüğü görülmektedir.

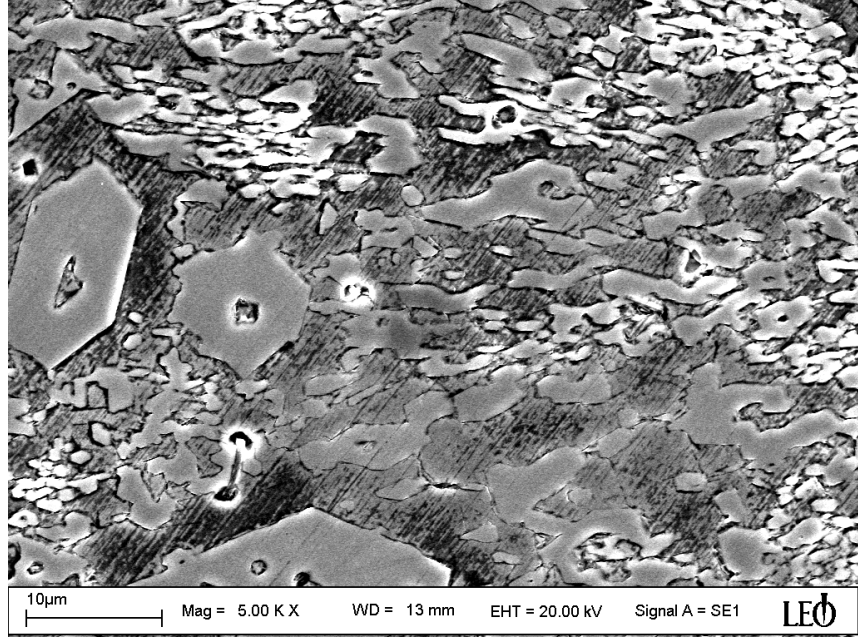
1000 °C’de östenitlemeden sonra havada su verilmesi sonucu kromca zengin birincil karbürler ve molibden zengin ikincil karbürler yapıda teşekkül etmiştir.

N1 numunesinde ağırlıkça % 1 TiBAI ,%2 TiBAI ve %3 TiBAI ilave dilerek mikroyapıdaki değişim gözlenmiştir. Her aşılama sonrası numunelere 1 ve 2 saat olmak üzere iki tip ısıt işlem uygulanmıştır.N1 numunesine %1 TiBAI ilave edilmiş ve aşılama sonrası elde edilen mikro yapı Şekil 8.4 de verilmiştir. N4 numunesindeki matris ve karbürlere ait EDS sonuçları Tablo 8.4 te verilmiştir.

N4 numunesine ilave edilen %1 TiBAI mikroyapıda birincil karbürlerin ebatlarının düşmesine, hegzogonal yapıların belirginleşmesine, ikincil karbürlerin ebatların büyümesine ve ikincil karbürlerin küçülmesini tetiklediği düşünülmektedir.



(a)

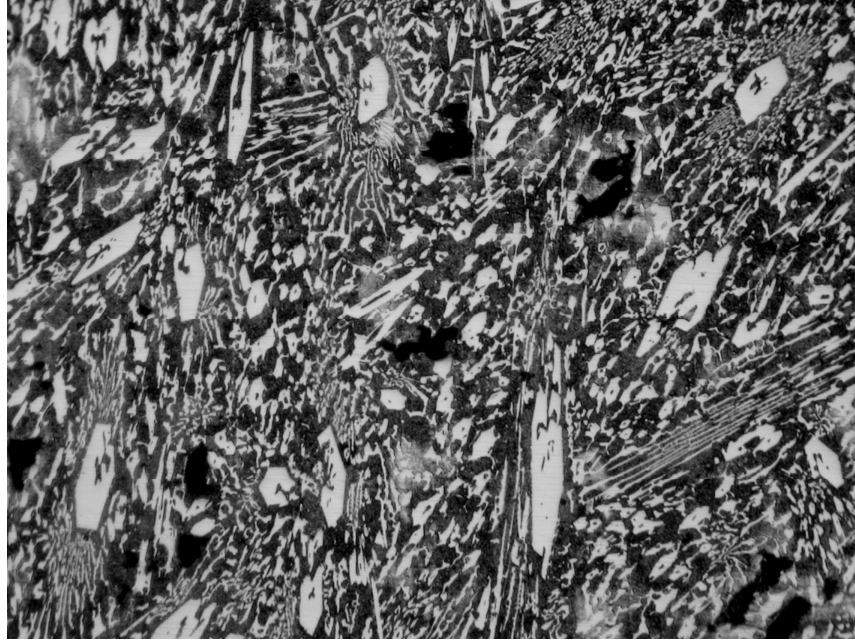


(b)

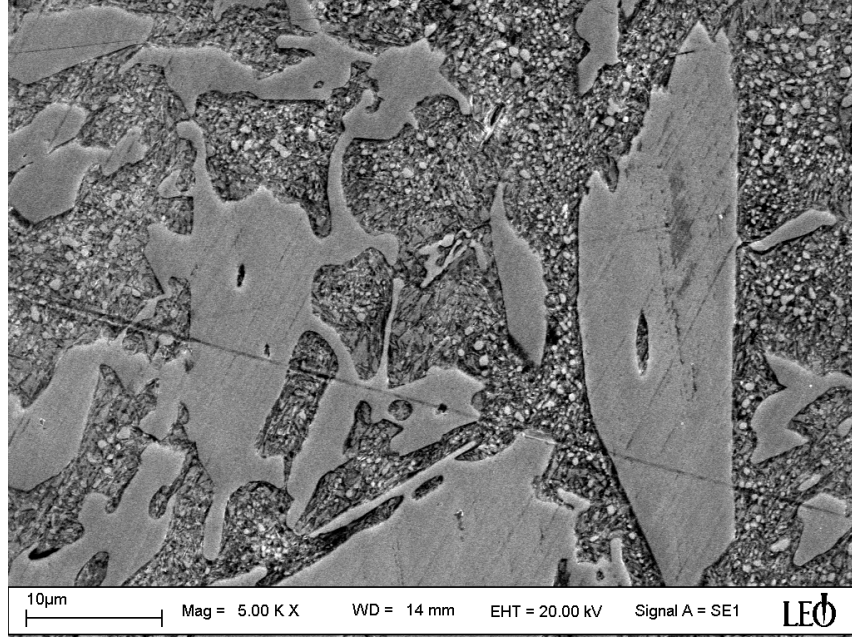
Şekil 8.4. N4 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.4 N4 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	48,85	40,77	5,75	1,71	0,25	2,34	0,02	0,31	7,0904	1,1982
MATRİS	85,3	5,91	4,81	1,76	0,22	0,74	0,85	0,4	1,2287	14,433



(a)

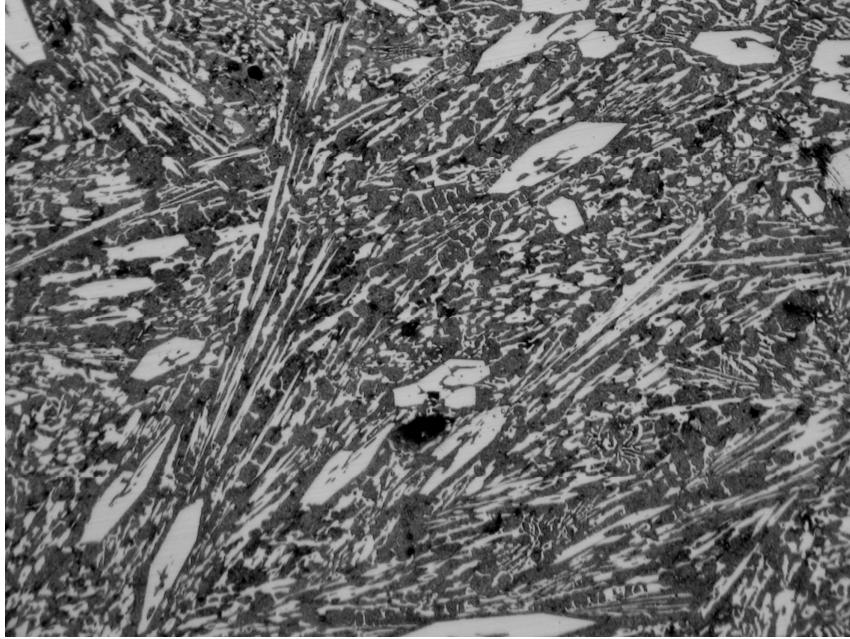


(b)

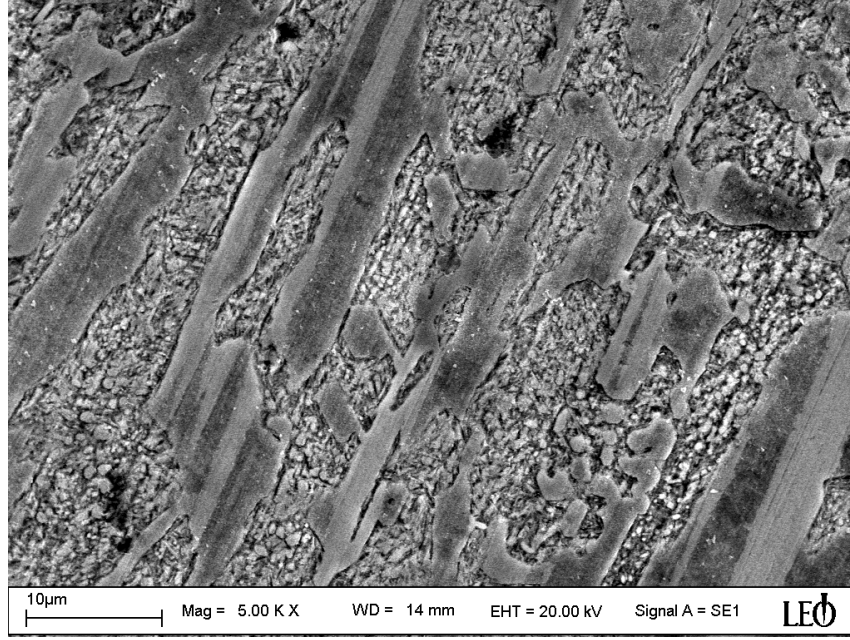
Şekil 8.5. N5 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.5 N5 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	52,03	36,01	6,2	2,75	0,26	2,29	0,04	0,41	5,8081	1,4449
MATRİS	86,78	4,59	5,19	1,14	0,25	0,67	0,92	0,46	0,8844	18,906



(a)



(b)

Şekil 8.6. N6 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.6 N6 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	53,61	34,63	6,65	2,31	0,22	2,23	0,03	0,31	5,2075	1,5481
MATRİS	79,65	10,94	5,01	1,52	0,25	1,12	0,9	0,6	2,1836	7,2806

N5 numunesinde %1 TiBAI ilave edilmiş yapıyı 1 saat ısıtılma tabi tutulması ile elde edilen mikroyapı görüntüsü ve EDS analizleri Şekil 8.5 ve Tablo 8.5 te verilmiştir.

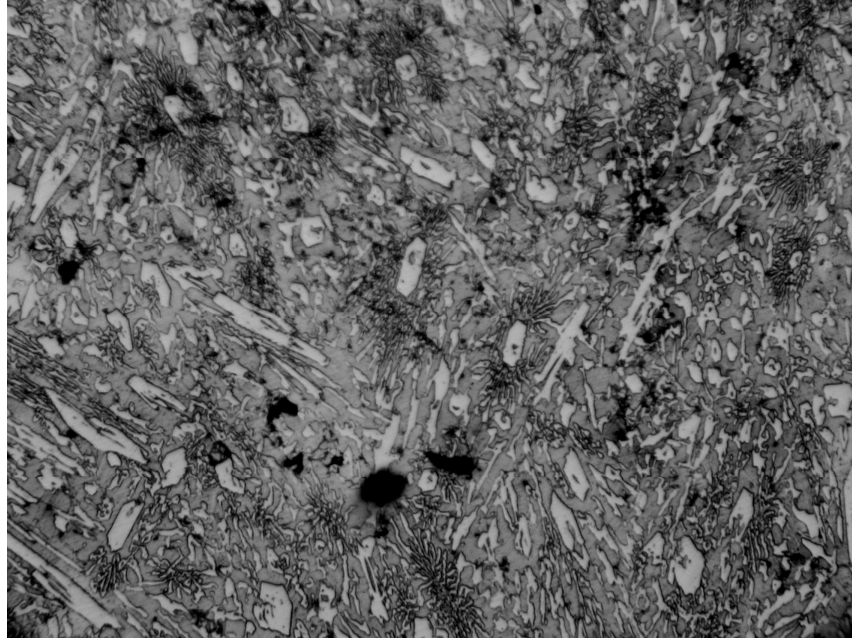
N6 numunesinde ısıtılma süresi 2 saate çıkarılmıştır. Mikroyapıda karbür ebadında bariz bir değişim görülmemiştir. Bu numuneye ait mikroyapı fotoğrafı Şekil 8.6 da verilmektedir. N6 numunesine ait EDS sonuçları Tablo 8.6 görülmektedir.

Aşılmalı oranı %2'ye çıkarılmış 1 saat ve 2 saat ısıtılma tabi tutulmuştur. Bu numunelerden elde edilen mikroyapı sonuçları Şekil 8.7, Şekil 8.8 ve Şekil 8.9 da verilmiştir.

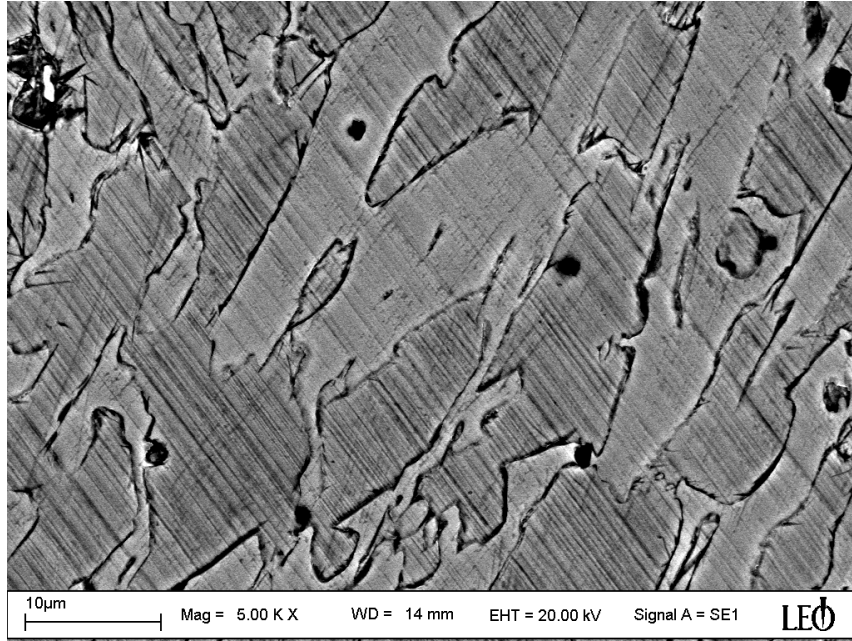
Bu numunelere ait EDS sonuçları Tablo 8.7 , Tablo 8.8 ve Tablo 8.9 da verilmiştir.

Su verme sıcaklığının sertlik üzerindeki etkisi östenit içerisinde C ve Cr'un çözünme oranı ile ilgilidir. Başlangıçta yüksek C miktarı sertleşebilirliği ve su verme sonrasında oluşan martenzitin sertliğini artırır. Bu olay mikroyapıdaki daha fazla karbon artışının kalıntı östenit oluşturmaya kadar devam eder. Daha fazla karbon artışı sertlik düşüşüne yol açar. Diğer bir değişle mikroyapıdaki kalıntı östenit oranının artması sertlikteki düşüşün temel sebebidir.

Su verme sonrasındaki sertliğe karbonun yanı sıra kromda etki etmektedir. Krom miktarının artışı ile en yüksek sertliğin elde edildiği östenitleme sıcaklığı artmaktadır.



(a)



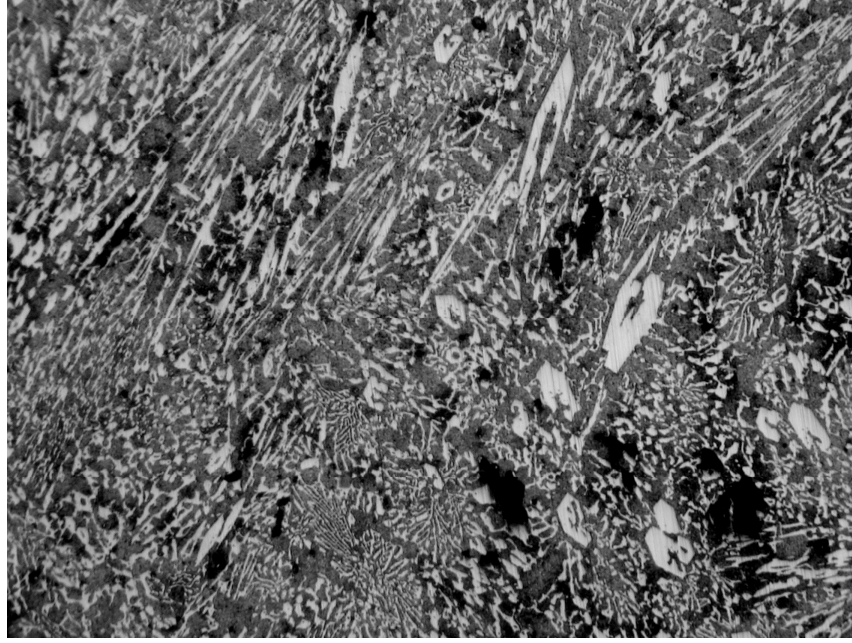
(b)

Şekil 8.7. N7 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

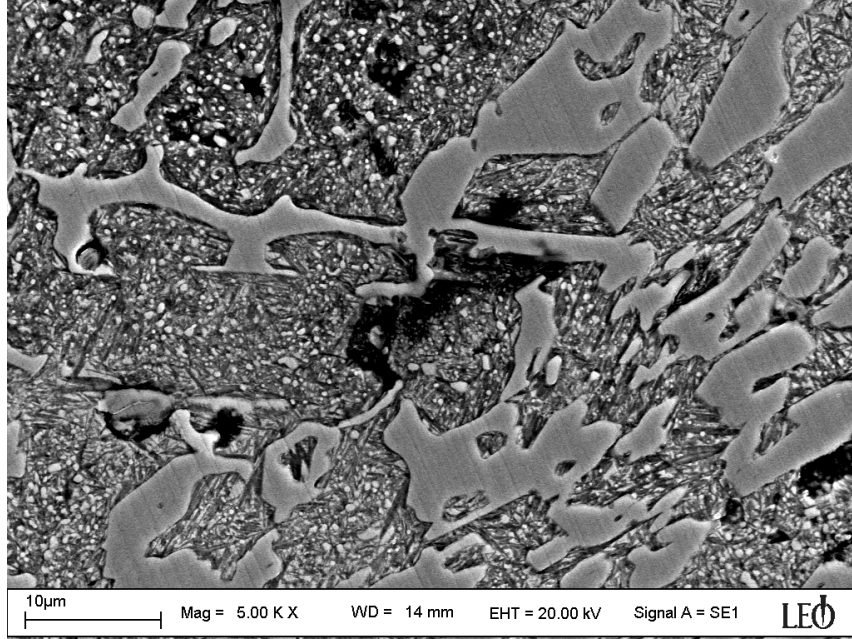
Tablo 8.7 N7 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	53,41	34,5	6,48	2,89	0,32	1,99	0,01	0,37	5,3241	1,5481
MATRİS	84,68	5,88	4,49	1,35	0,29	0,82	0,87	1,63	1,3096	14,401

%2 TiBAI ile aşılanan mikroyapıda ısıtıl işlem etkisinin belirlenebilmesi için 1000 °C sıcaklıkta 1 saatlik ısıtıl işlem uygulanmıştır.



(a)

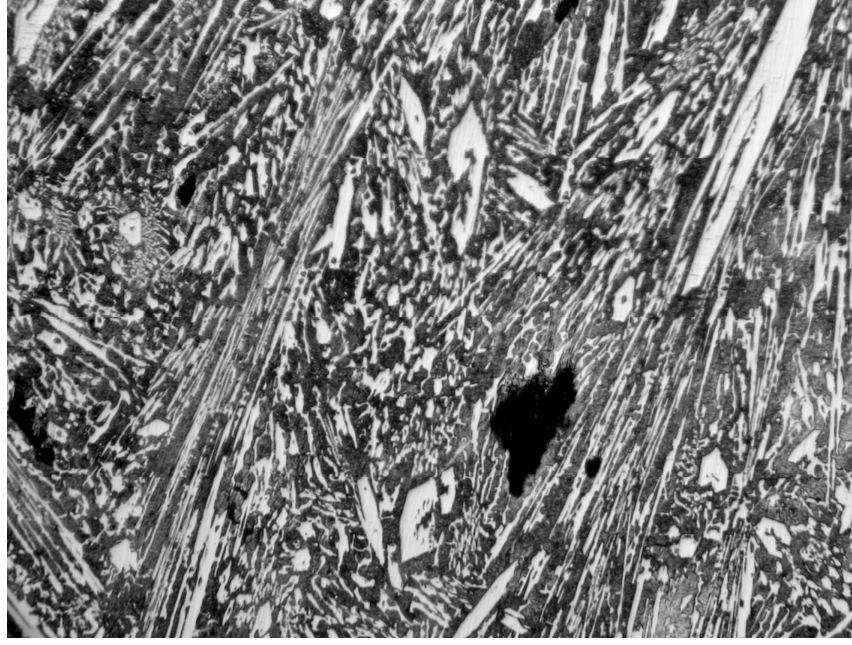


(b)

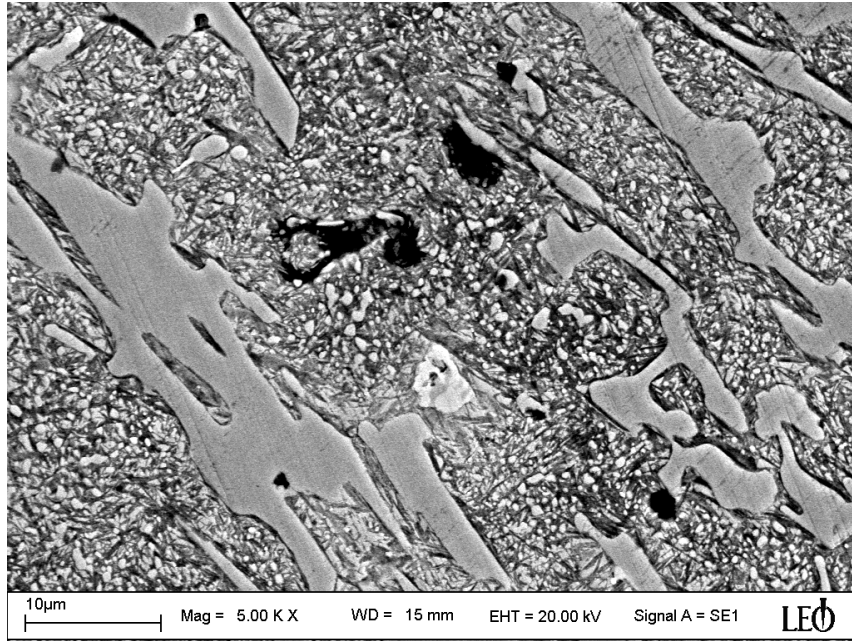
Şekil 8.8. N8 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.8 N8 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	45,43	43,44	6,52	1,72	0,23	2,31	0,02	0,43	6,6626	1,0458
MATRİS	82,55	6,81	6,1	0,88	0,15	0,87	0,55	2,09	1,1164	12,122



(a)

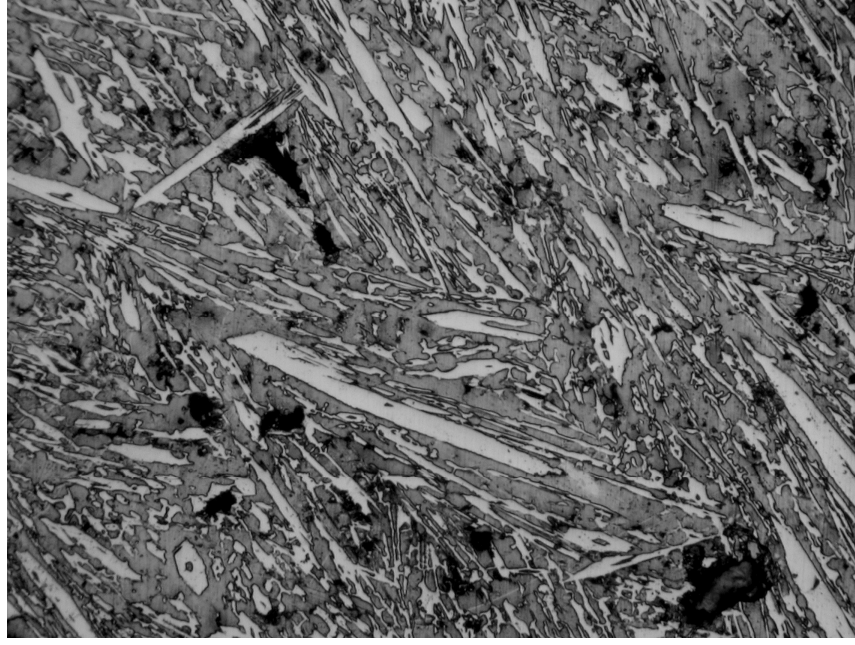


(b)

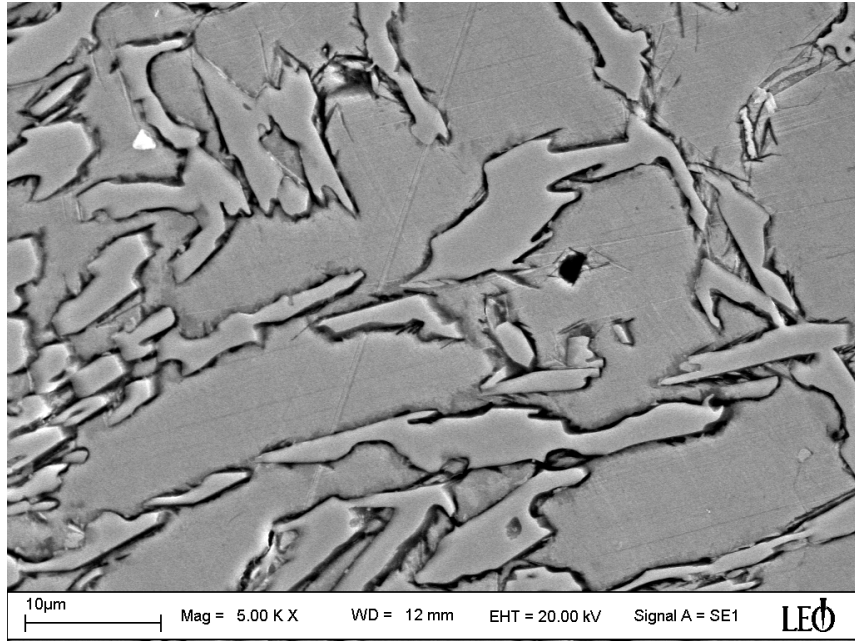
Şekil 8.9. N9 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.9 N9 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	46,85	42,66	6,3	1,44	0,21	2,24	0,02	0,29	6,7714	1,0982
MATRİS	81,45	5,37	8,16	1,97	0,31	0,73	0,86	2,28	0,6581	15,168



(a)



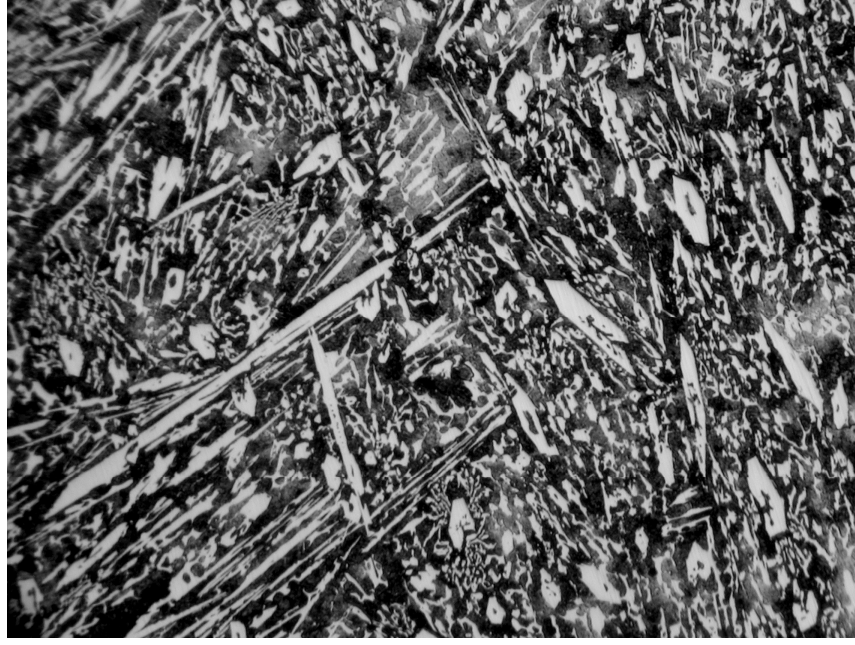
(b)

Şekil 8.10. N10 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

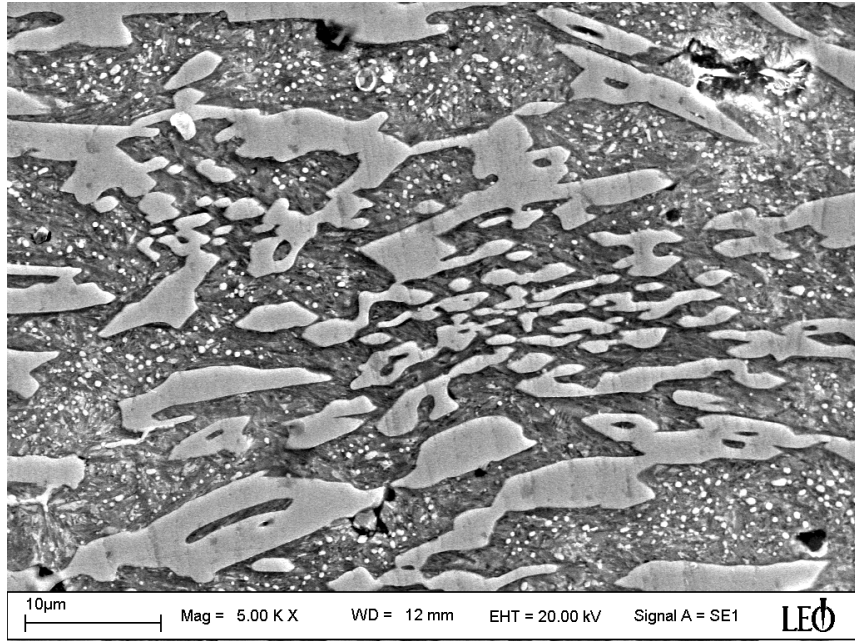
Tablo 8.10 N10 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	46,08	41	7,28	2,46	0,3	2,41	0,07	0,41	5,6319	1,1239
MATRİS	81,79	6,62	5,06	1,21	0,32	0,75	0,72	3,54	1,3083	12,355

N10 numunesine ait %3 TiBAI ilave edilmiş döküm sonrası yapı ve bu yapıdan elde edilen EDS sonuçları Şekil 8.10 ve Tablo 8.10 da sunulmaktadır.



(a)



(b)

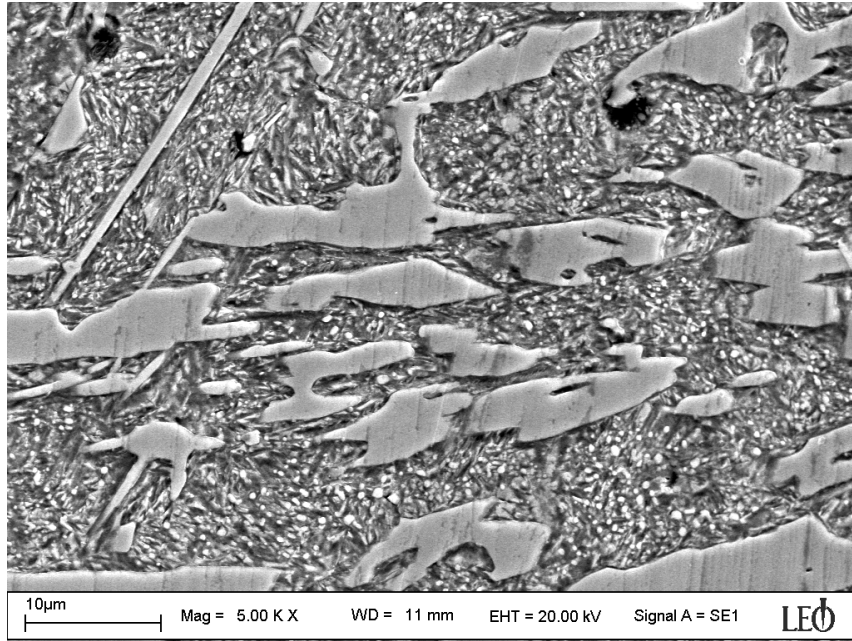
Şekil 8.11. N11 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.11 N11 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	54,37	33,22	7,32	2,07	0,35	1,93	0,16	0,58	4,5383	1,6367
MATRİS	81,9	5,87	6,13	0,48	0,22	0,88	0,51	3,27	0,9576	13,952



(a)



(b)

Şekil 8.12. N12 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.12 N12 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Mo	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	50,03	36,18	6,93	3,76	0,45	2,08	0,1	0,48	5,2208	1,3828
MATRİS	80,4	5,37	8,16	1,91	0,31	0,73	0,86	2,25	0,6581	14,972

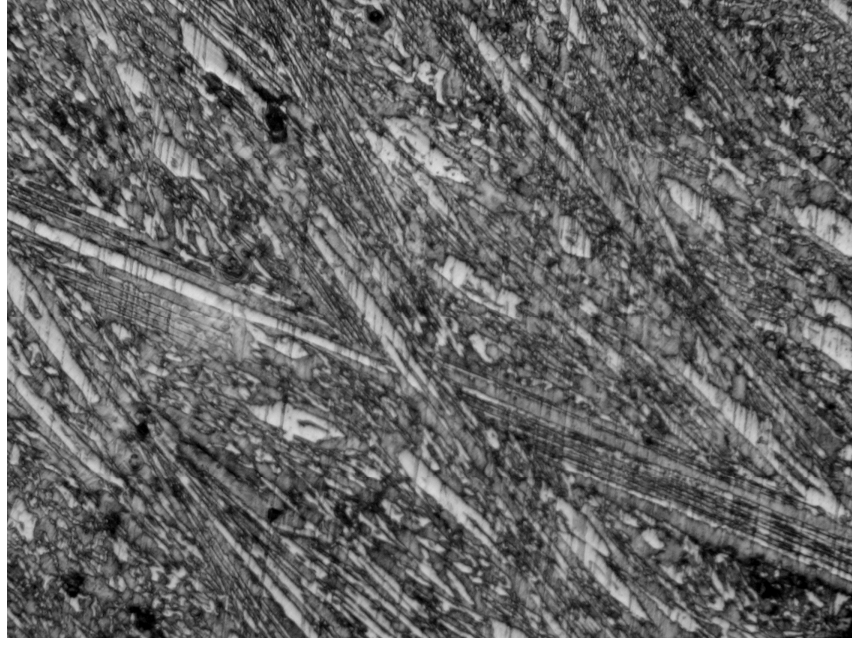
N 10 numunesine uygulanan ısıt işlemler sonrası ısıt işlemin etkisi Şekil 8.11-12 de verilmiştir. Isıl işlem süresinin dendritik yapıdaki karbürlerin ebatlarını düşürmede etkili olduğu

görülmektedir. N11 ve N12 numunelerine ait matris ve karbür konsantrasyonları Tablo 8.11 ve Tablo 8.12 de yer almaktadır.

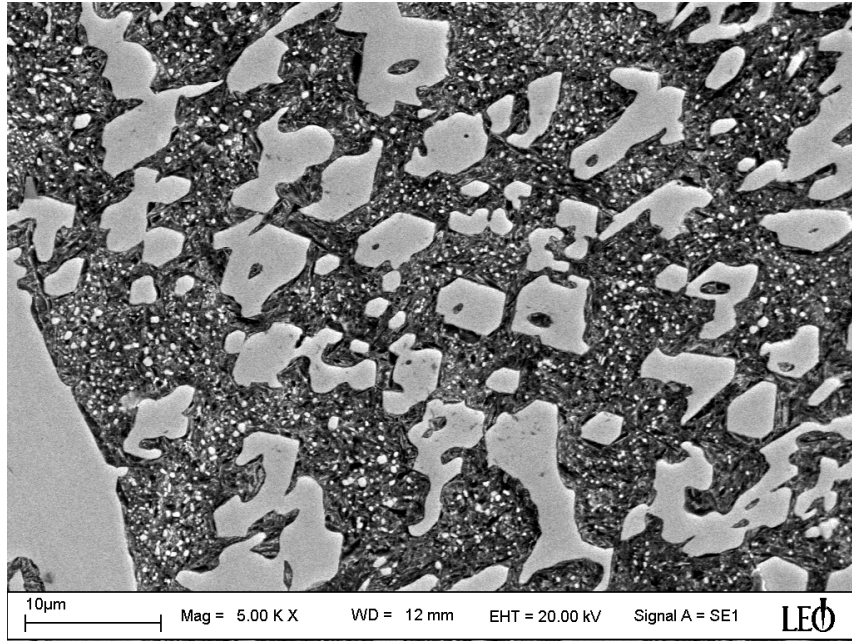
Mo'li N1-N12 numunelere aşılama ve ısıt işlemler sonucunda mikro yapının değıştiğı tespit edilmiştir. TiBAI aşılama ile ısıt işlemin mikro yapı üzerinde benzer etki ye sahip olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar TiBAI aşılama matris yapısı üzerinde ısıt işlem kadar etkili olamasa da fazların dağılımı ve boyutlarını ısıt işlemle benzer şekilde değıştirdiğı gözlemlenmiştir.

Isıt işlem sonrası yapıda ikincil karbürler teşekkül ederken ısıt işlem süresine bağılı olarak ikincil karbürlerin ebatları artmıştır.

İkinci grup numunelerde yapıda bulunan Mo elementi yapıya dahil edilmemiştir. Aşınma direncinin düşmemesi için mevcut Cr oranı %17,2 den % 23,9 a çıkarılmıştır. Mo'nin aşınma direncinin arttırdığı daha önce yapılan çalışmalarda da belirlenmiştir. Mo'nin maliyete etkisi büyük olduğu düşünülüp aşınma direncini arttırtmak amacı ile Cr oranında değışime gidilmiştir. TiBAI ilavesiz ve ısıt işlemsiz N13 numunesinin mikro yapı görüntüsü Şekil 8.13 de verilmiştir.



(a)



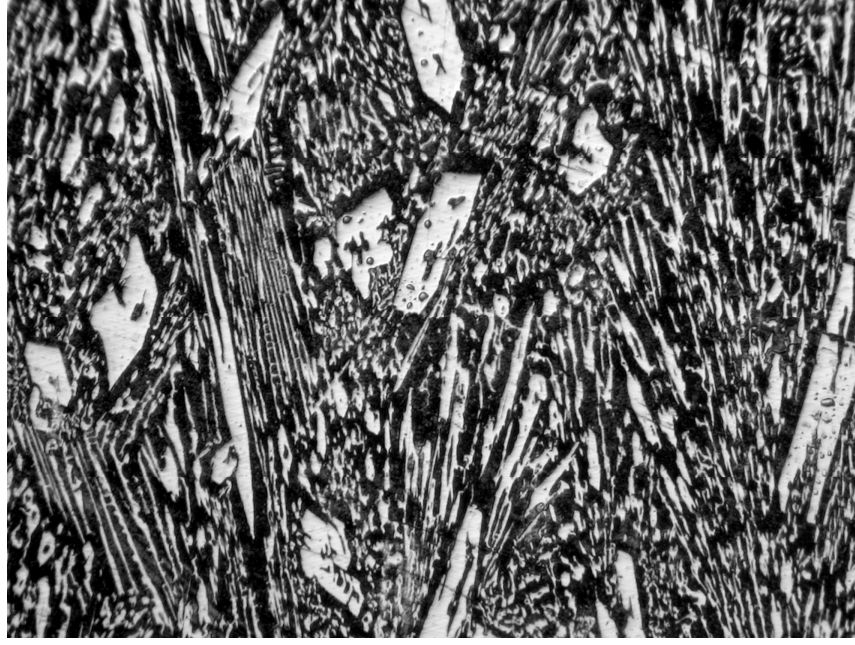
(b)

Şekil 8.13. AN13.4 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

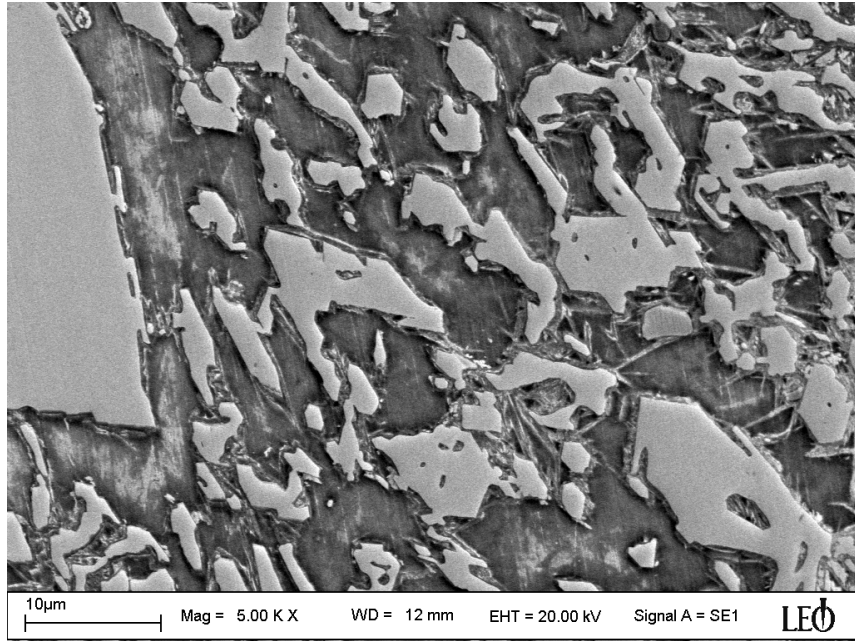
Tablo 8.13 N13 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	40,72	48,43	7,01	0,31	2,38	0,14	0,39	6,9087	0,8408
MATRİS	79,1	9,58	7,81	0,21	0,77	1,19	0,46	1,2266	8,2568

Mo ve TiBAI içermeyen numuneye uygulanan 1 saatlik ısıtıl işlem sonrası elde edilen N14 numunesinin mikroyapı ve EDS sonuçları Şekil 8.14 ve Tablo 8.14’de verilmiştir.



(a)



(b)

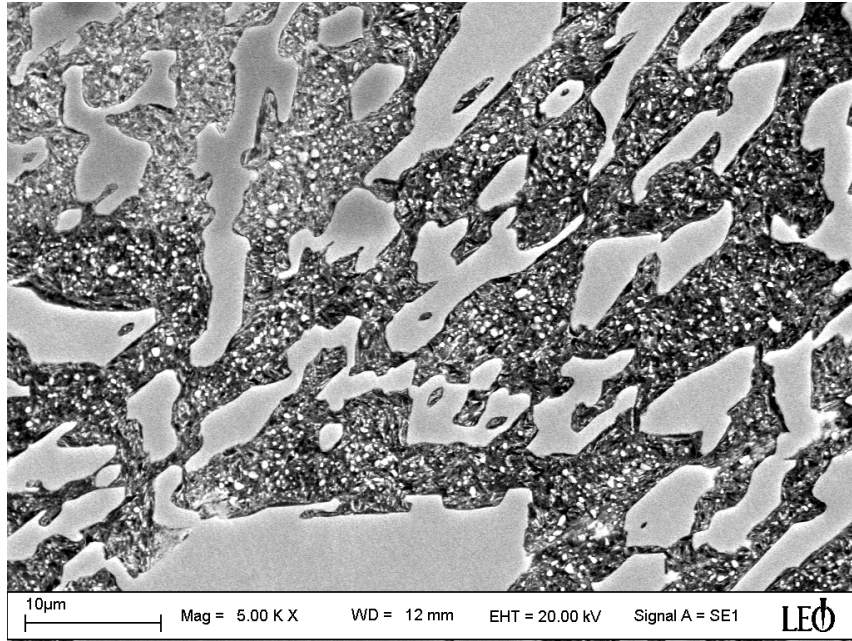
Şekil 8.14. N14 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.14 N14 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	38,85	51,52	5,42	0,35	2,66	0,1	0,44	9,5055	0,7541
MATRİS	79,02	11,18	6,3	0,31	0,98	1,08	0,46	1,7746	7,068



(a)



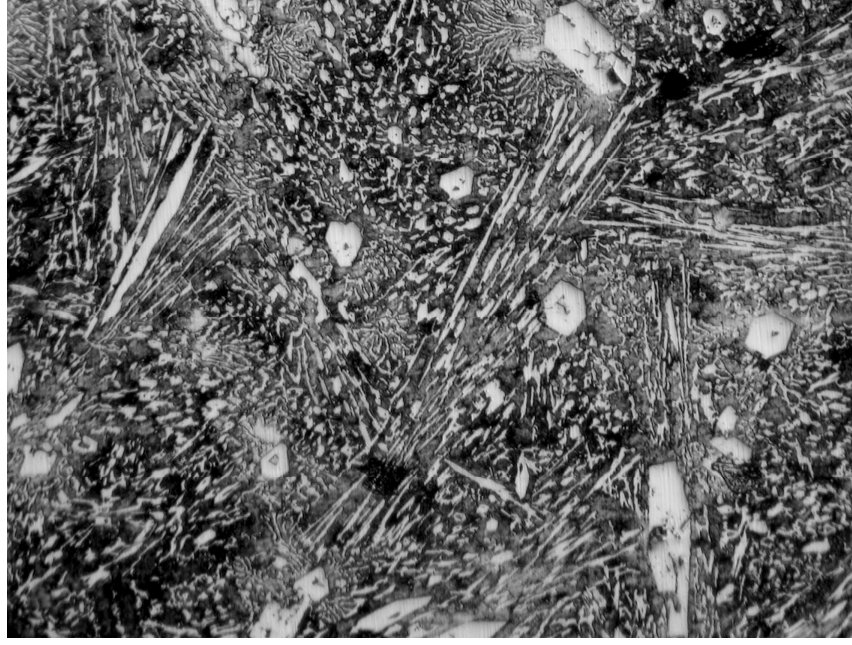
(b)

Şekil 8.15. N15 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

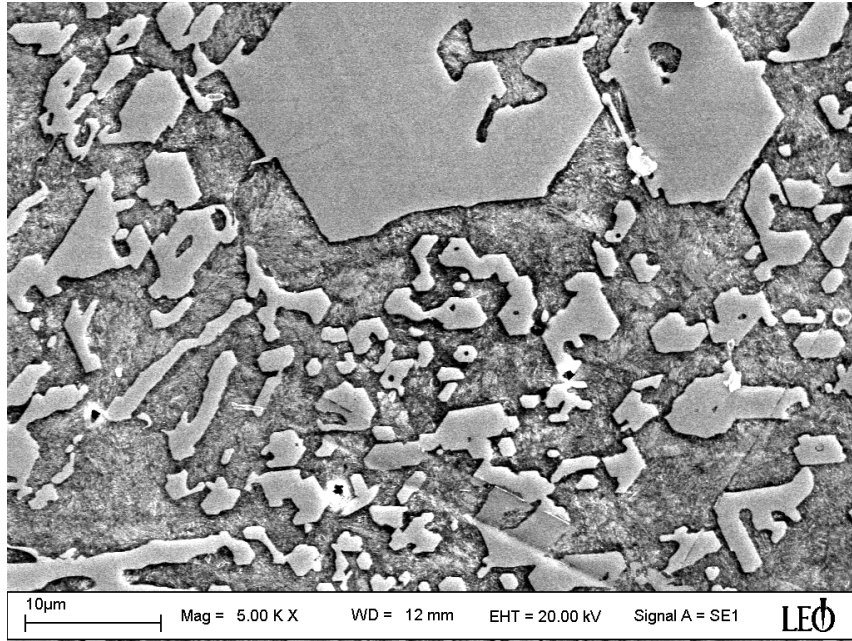
Tablo 8.15 N15 Numunesine Ait Karbür ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	45,46	42,9	7,8	0,22	2,3	0,2	0,44	5,5	1,0597
MATRİS	81,86	7,54	7,12	0,23	0,81	1,29	0,45	1,059	10,857

%1 TiBaI ilaveli numunenin mikroyapı görüntüsü şekil 8.16 da verilmiştir.



(a)

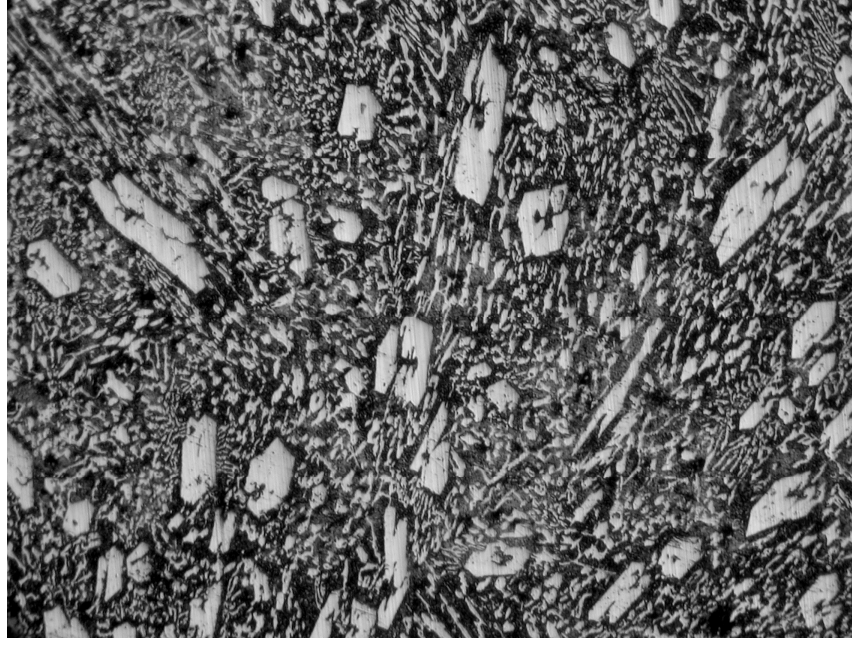


(b)

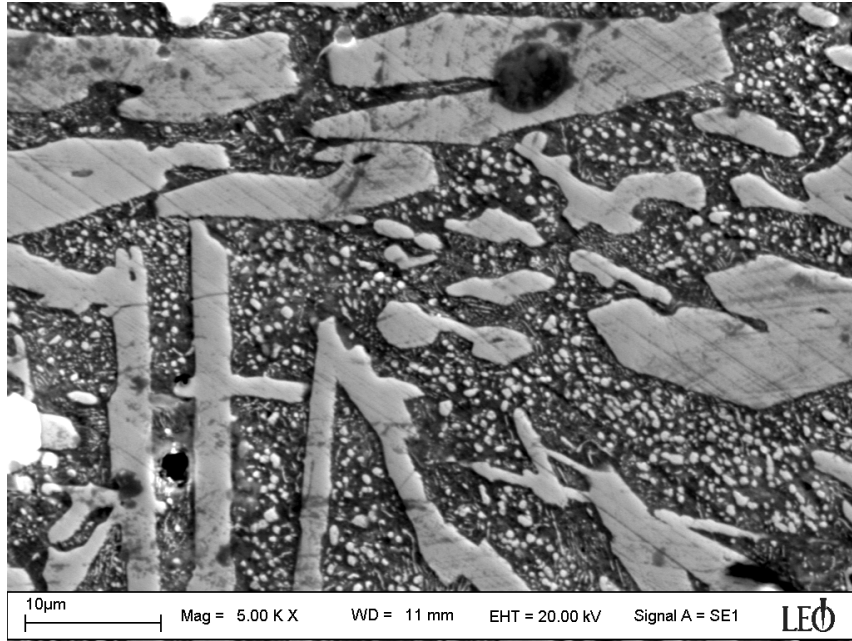
Şekil 8.16. N16 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.16 N16 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	40,77	47,89	7,01	0,36	2,58	0,13	0,5	6,8317	0,8513
MATRİS	77,43	10,3	7,49	0,18	0,8	0,98	2,12	1,3752	7,5175



(a)



(b)

Şekil 8.17. N17 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

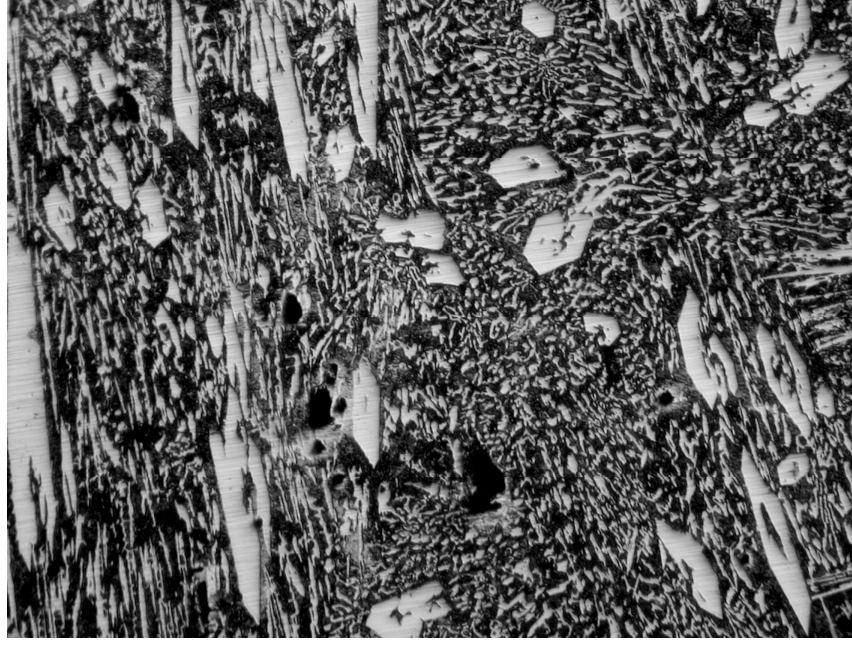
Tablo 8.17 N17 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	42,75	45,63	7,84	0,28	2,11	0,14	0,47	5,8202	0,9369
MATRİS	80,61	7,41	7,18	0,16	0,75	1,3	1,94	1,032	10,879

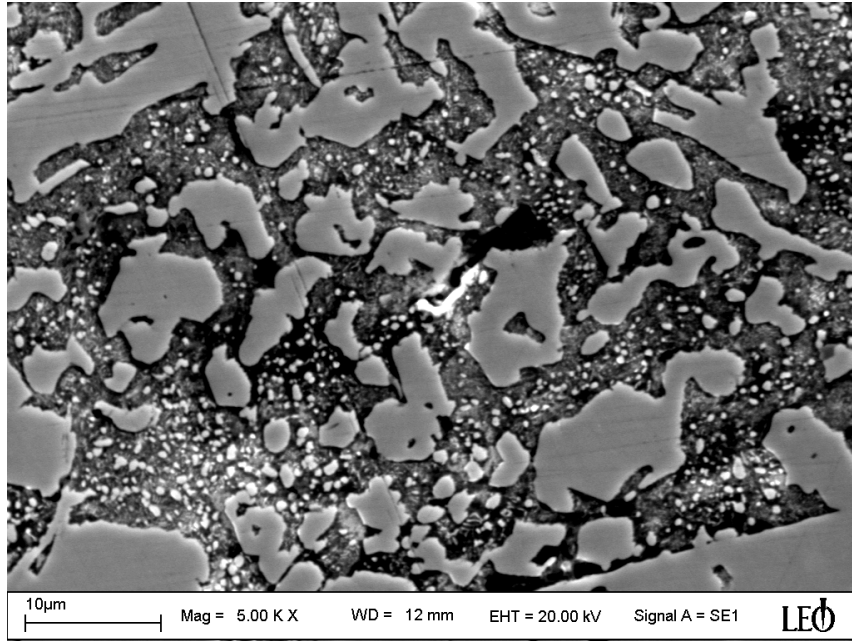
1 saat ısıt işlem ve %1TiBAI ilave edilmiş numunenin mikroyapı (Şekil 8.17) ve EDS(Tablo 8.17) sonuçları.

N18 numunesinde TiBAI oranı %1 olarak uygulanmış ve ısıt işlem süresi 2 saat olarak uygulanmıştır.

Üretilen yapının mikroyapı görüntüsü Şekil 8.18 de verilmiştir.



(a)

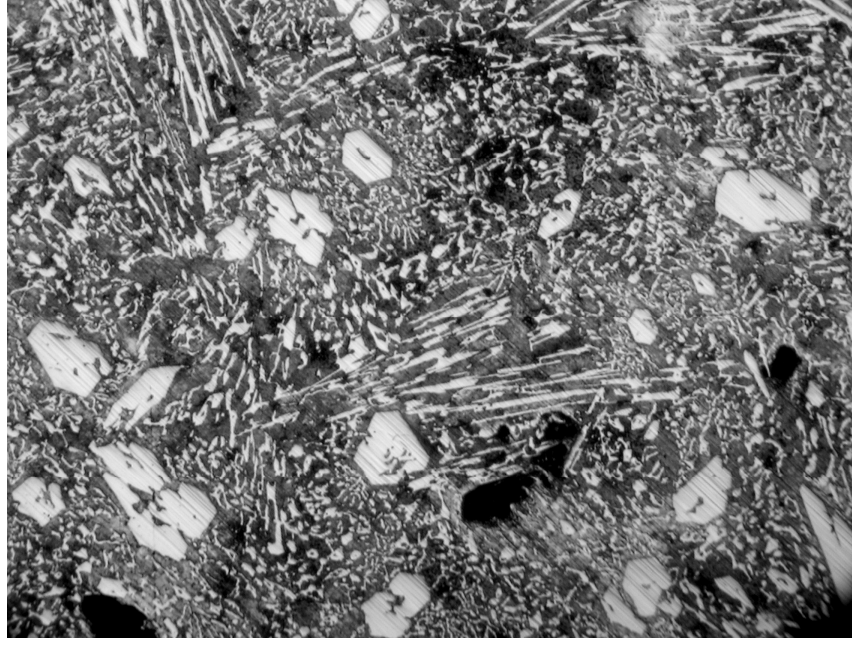


(b)

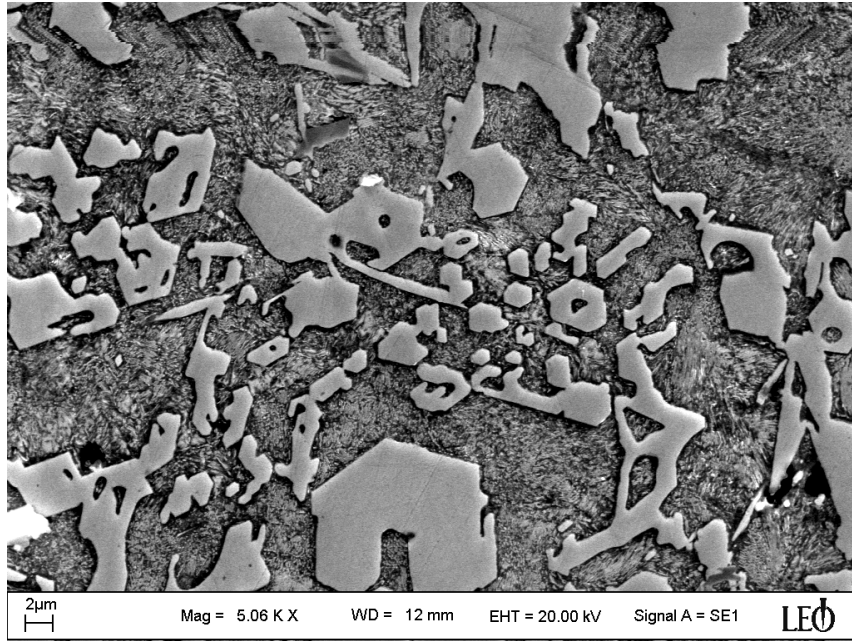
Şekil 8.18. N18 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.18 N18 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	41,92	47,45	6,75	0,26	2,41	0,1	0,43	7,0296	0,8835
MATRİS	81,02	7,56	6,27	0,19	0,73	1,21	2,24	1,2057	10,717



(a)



(b)

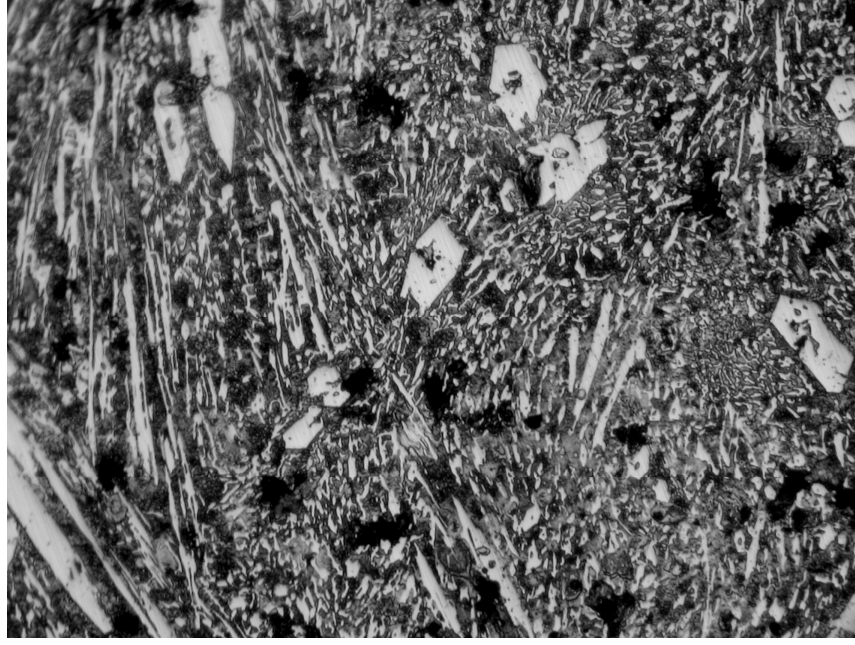
Şekil 8.19. N19 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.19 N19 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

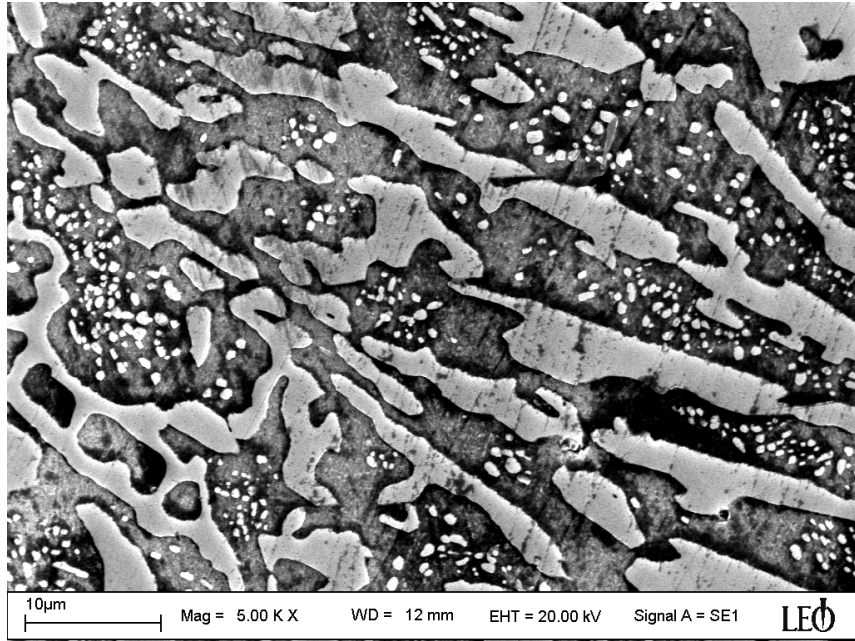
YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	40,98	47,79	7,13	0,31	2,42	0,15	0,46	6,7027	0,8575
MATRİS	78,87	9,63	6,22	0,17	0,84	1,05	2,59	1,5482	8,19

TiBAI oranının %2 oranına çıkarılması ile elde edilen N19 numunesi Şekil 8.19 da SEM görüntüsünden alınan EDS analizleri Tablo 8.19 da verilmiştir.

N19 numunesine 1 ve 2 saatlik ısıt işlemlerin etkisi şekil 8.20 ve şekil 8.21 de verilmiştir.



(a)



(b)

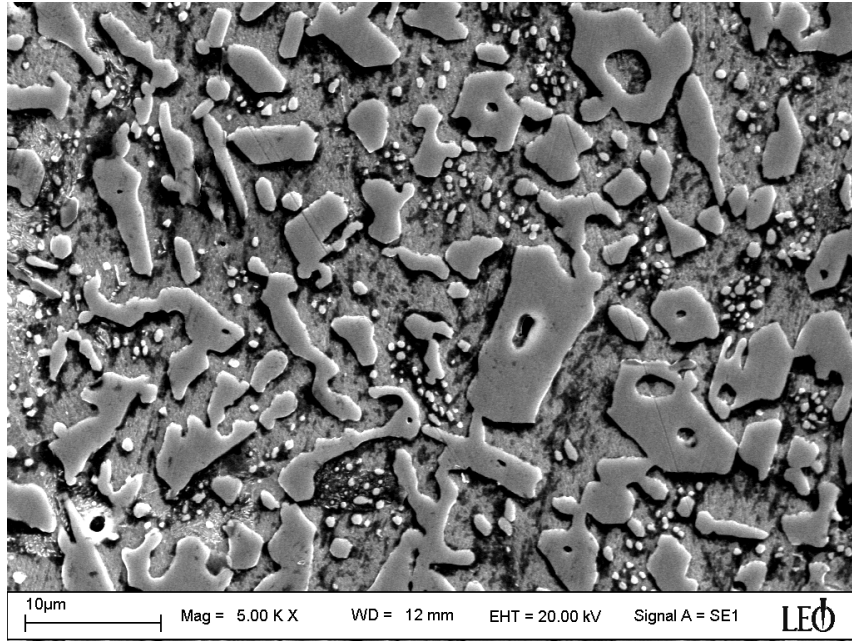
Şekil 8.20. N20 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.20 N20 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	44,49	44,34	7,08	0,31	2,34	0,14	0,58	6,2627	1,0034
MATRİS	80,37	7,79	4,6	0,26	0,83	1,32	3,98	1,6935	10,317



(a)



(b)

Şekil 8.21. N21 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.21 N21 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

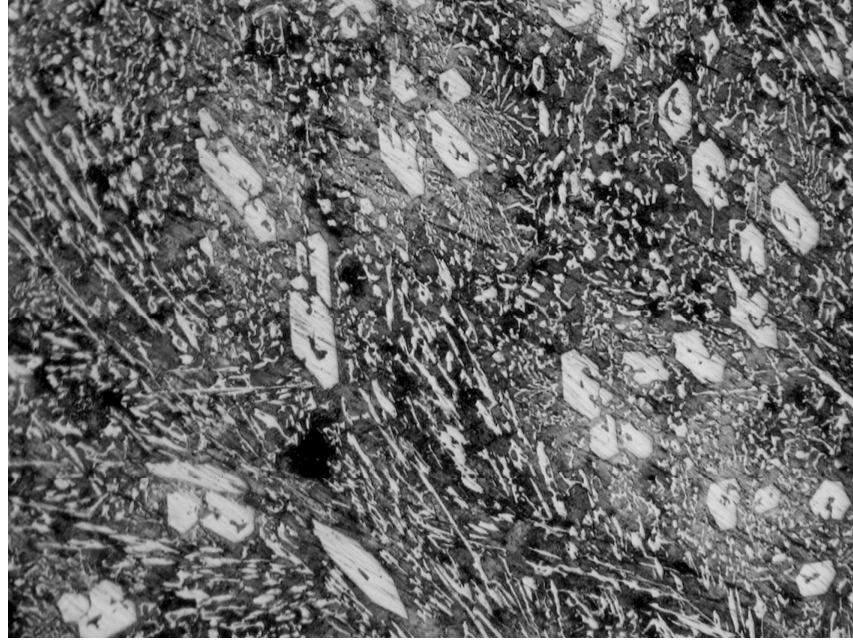
YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	39,24	49,18	7,38	0,32	2,4	0,19	0,47	6,664	0,7979
MATRİS	84,18	5,04	4,51	0,2	0,63	1,1	3,72	1,1175	16,702

Isıl işlemin karbür kimyasal yapısı üzerinde (Cr/C) kısmen etkili olduğu görülmüştür (Tablo 8.21). karbür yapısında Cr konsantrasyonu azaltmıştır.

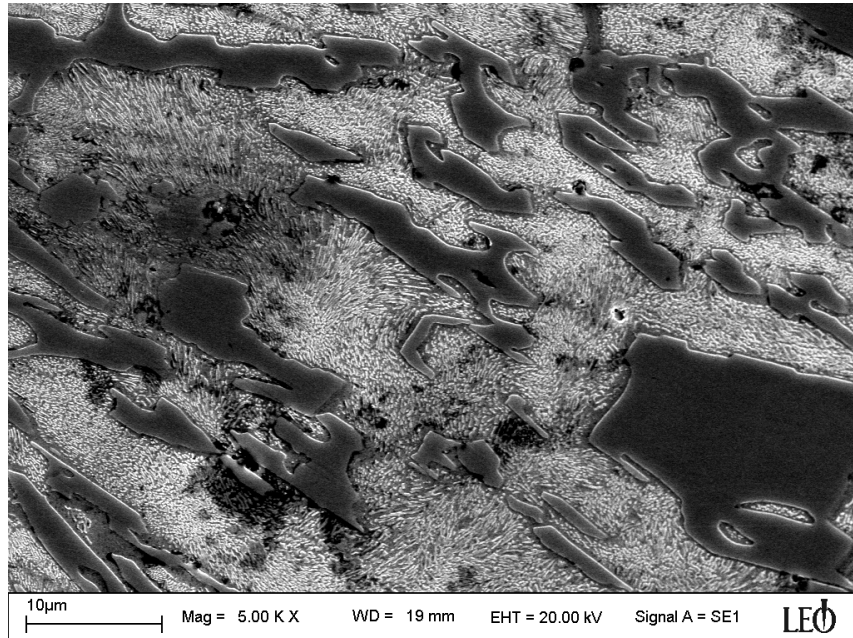
Cr konsantrasyonu %25 civarına çıktığında, yapıda östenit fazı ve M_7C_3 karbürleri oluşur. Cr konsantrasyonu %15 mertebesine düştüğünde ise matriste özellikle perlit ve beynit fazları teşekkül eder.

Tablo 8.21 te görüldüğü gibi ısıt işlem sonrası kimyasal kompozisyonda değişim yaşanmış ancak matris içindeki görüntülerden yapıda oluşmuş muhtemel perlit fazı oranı belirlenememiştir.

%3 TiBAI içeren yapının mikroyapı görüntüsü Şekil 8.22 de ve bu yapıya uygulanan ısıt işlem sonrası oluşan mikroyapı görüntüsü ise Şekil 8.23-24 te verilmiştir.



(a)

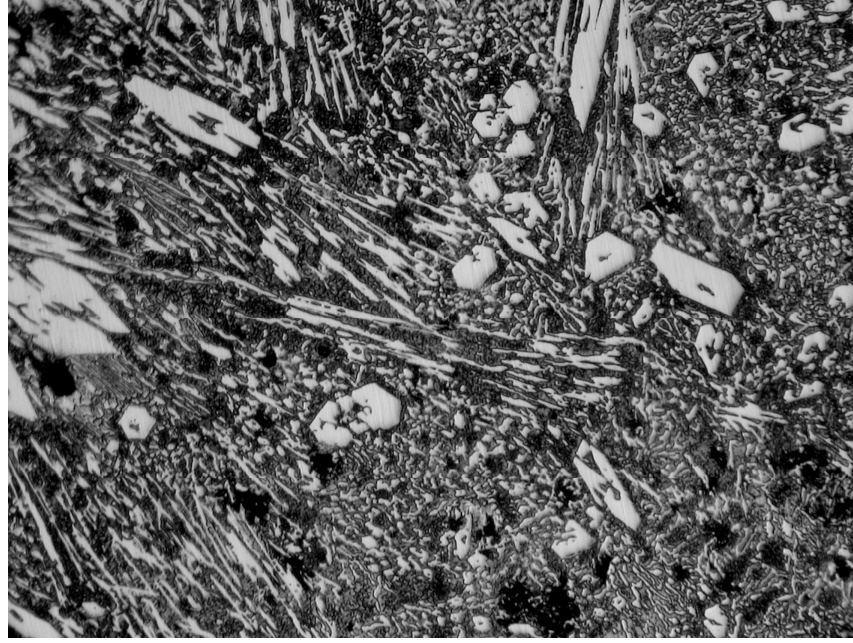


(b)

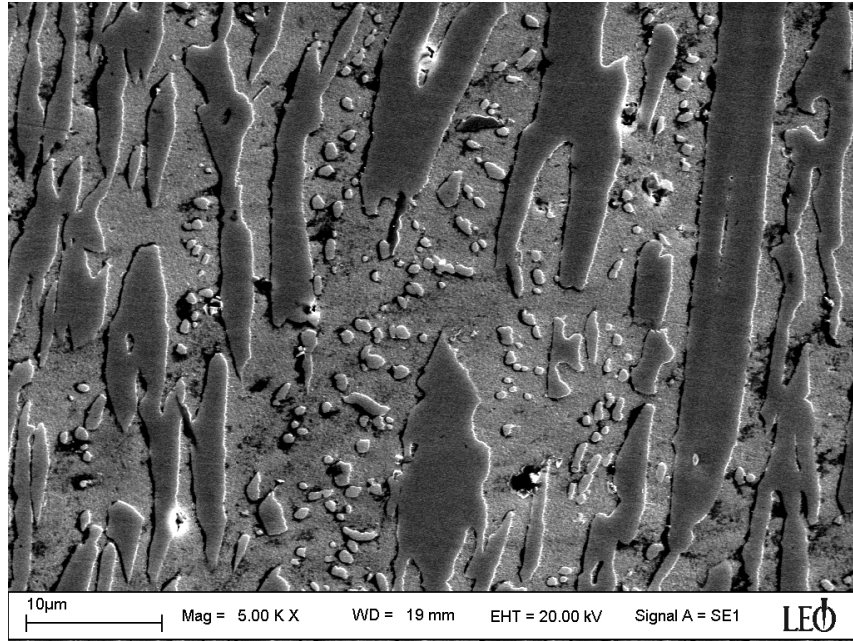
Şekil 8.22. N22 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.22 N22 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	37,25	46,68	7	0,3	2,27	0,18	0,45	6,6686	0,798
MATRİS	75,65	9,73	7,63	0,22	0,89	0,79	4,34	1,2752	7,7749



(a)



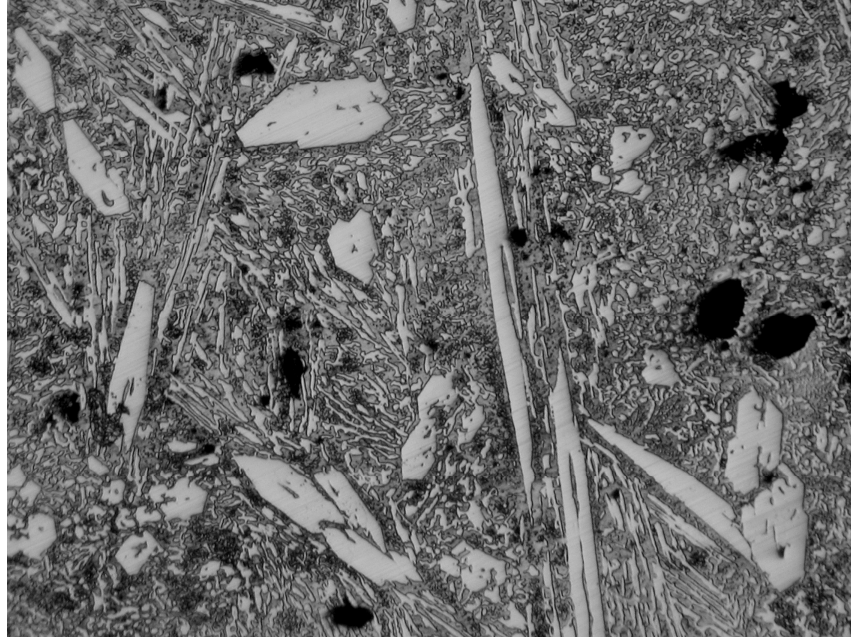
(b)

Şekil 8.23. N23 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

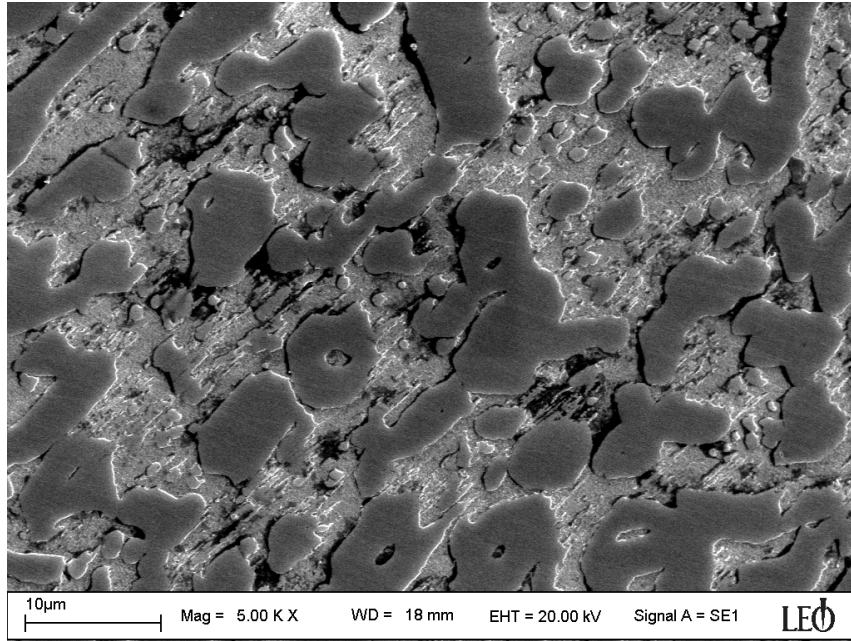
Tablo 8.23 N23 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
------	----	----	---	----	----	----	----	------	-------

KARBÜR	34,44	53,2	7,8	0,39	2,4	0,17	0,38	6,8205	0,6474
MATRİS	76,14	10,84	5,37	0,31	1,16	1,17	4,35	2,0186	7,024



(a)



(b)

Şekil 8.24. N24 numunesi, a) 10x15, b) SEM 5000

Tablo 8.24 N24 Numunesine Ait Karbür Ve Matris Analizleri

YAPI	Fe	Cr	C	Ti	Mn	Si	Al	Cr/C	Fe/Cr
KARBÜR	37,65	50,77	7,34	0,31	2,4	0,15	0,45	6,9169	0,7416
MATRİS	79,77	7,69	5	0,25	0,85	1,45	4,68	1,538	10,373

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde görülen en enteresan hadiselerden biri her zaman ötektik karbürlerin etrafına martensit fazının teşekkül etmesidir. Sıcaklık düştükçe östenit dendritleri içinde Cr, C, Si atomları düzenli ve homojen bir biçimde dağılmazlar. Karbür tanesi sınırında Cr, C miktarı hızla yükselir ve östenit tanesinin merkezine doğru tekrar düşer.

Kromca zengin konsantrasyona sahip numunelerin mikroyapıları Mo'li numunelerle benzer mikroyapılara sahiptir.

Molibdenli numunelerdeki ikincil karbürlerin molibdensiz numunelere göre homojen yayıldığı ve karbür boyutlarının daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

EDS sonuçlarında ise ikinci grup numunelerin matris ve karbürdeki Cr konsantrasyonu artmıştır.

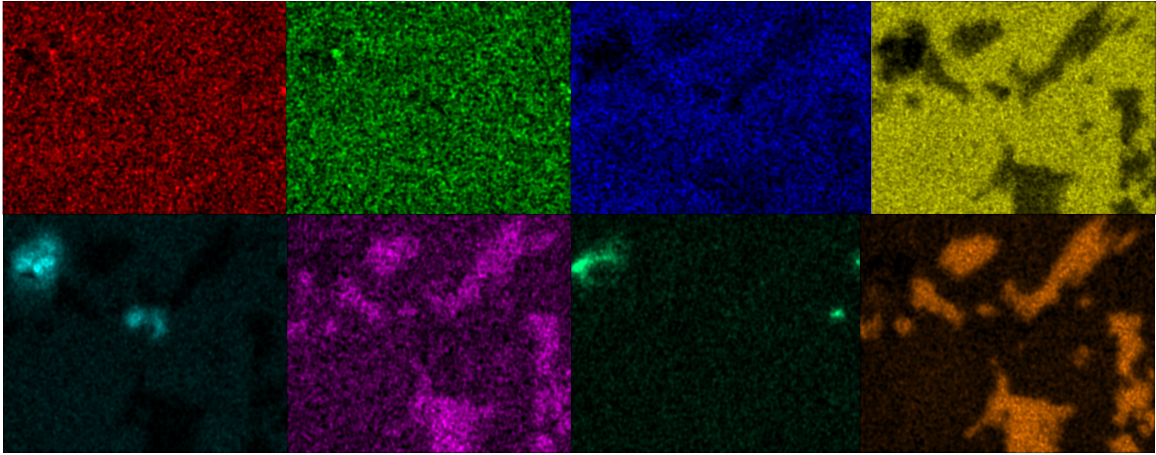
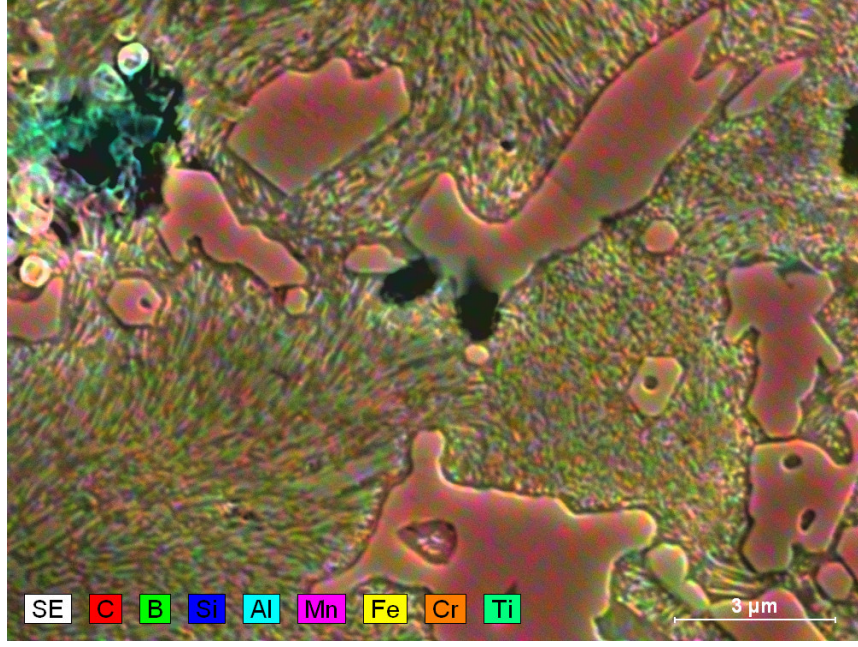
Tüm mikroyapı incelemelerinde döküm sonrası dendritik yapının TiBAI ve ısıt işleme toparlandığı tespit edilmiştir.

Isıt işlem ve TiBAI ilavesinin mikroyapıda benzer etkilere sahip olduğu düşünülmektedir. TiBAI ilavesi ile numunelerin tane boyutlarının küçüldüğü, dendritik yapının bozulmaya uğradı ve karbür morfolojilerinin çubuk yapıdan hegzagonal yapıya meylettikleri düşünülmektedir.

Numunelere uygulanan ısıt işlemin benzer sonuçlar verdiği mikroyapı fotoğraflarında da görülmektedir.

Yapılan EDS analizlerinde ısıt işlem ve TiBAI ilavesi ile matris ve karbürlerin kimyasal konsantrasyonlarının değiştiği tespit edilmiştir. Mikroyapıdaki değişim ile orantılı olarak TiBAI ile ısıt işlemin benzer etkiye sahip olacağı anlaşılmıştır.

Şekil 8.25 te N22 numunesine ait renkli SEM fotoğrafında ilave edilen TiBAI ve diğer fazlar üzerindeki kimyasal konsantrasyonu göstermektedir.



Şekil 8.25 % 3 TiBAI Takviyeli Isıl işlemsiz Numunenin Renkli SEM Fotoğrafı.

8.2 Sertlik Deney Sonuçları

Yapılan deneyler sonucu alınan sonuçlar Tablo 8.25'te verilmiştir.

Yapılan deneylerde en yüksek sertlik değerini Mo içeren, %1TiBAI ilave edilen ve 2 saat ısıtılma tabi tutulmuş N6 numunesi vermiştir. En düşük sertlik değerini ise Mo içermeyen, %3 TiBAI ilave edilmiş ve 2 saat ısıtılma işlemi yapılmış N 24 numunesi vermiştir.

Mo içeren numunelerin tamamının ısıtılma işlemi ile yüzey sertliklerinin döküm sonrası elde edilen sonuçlara göre arttığı görülmektedir. Mo içermeyen ikinci grup numunelerde TiBAI takviyesi yapılmayan numunelerde aynı durum tespit edilmiştir. %1, %2 ve %3 TiBAI ilavesi yapılan numunelerin, döküm ve ısıtılma işlemli yapılarının diğer numunelere göre çok düşük sertliğe sahip oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 8.25 te görüldüğü gibi Mo ilaveli numunelerin sertlikleri Mo ilavesizlere göre belirgin bir farklılık göstermektedir. Mo her ne kadar sertleşme derinliğini arttırmak amacı ile kullanılsa da

ince kesitli parçalarındaki sertlik artışı göz ardı edilmeyecek boyuttadır. Mo ilaveli numunelerde ısıtıl işlem sertliğin artmasına neden olmuştur.

Tablo 8.25. Sertlik Değerleri

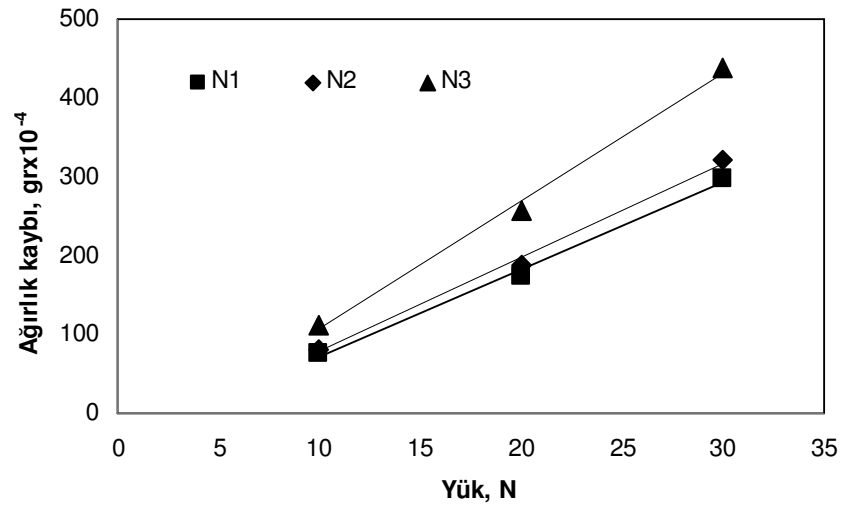
NUMUNE	SERTLİK (HRC)
N1	59,16
N2	67,50
N3	66,83
N4	56,66
N5	68,00
N6	68,50
N7	57,50
N8	67,30
N9	67,30
N10	58
N11	67,50
N12	66,2
N13	55,8
N14	66,3
N15	66,6
N16	55,8
N17	43,6
N18	48,1
N19	51
N20	42,6
N21	40,6
N22	49
N23	43,1
N24	41,5

8.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma test sonuçları Şekil 8.25-8.33 de verilmiştir. Testler oda sıcaklığında ve sabit yük altında gerçekleştirilmiştir.

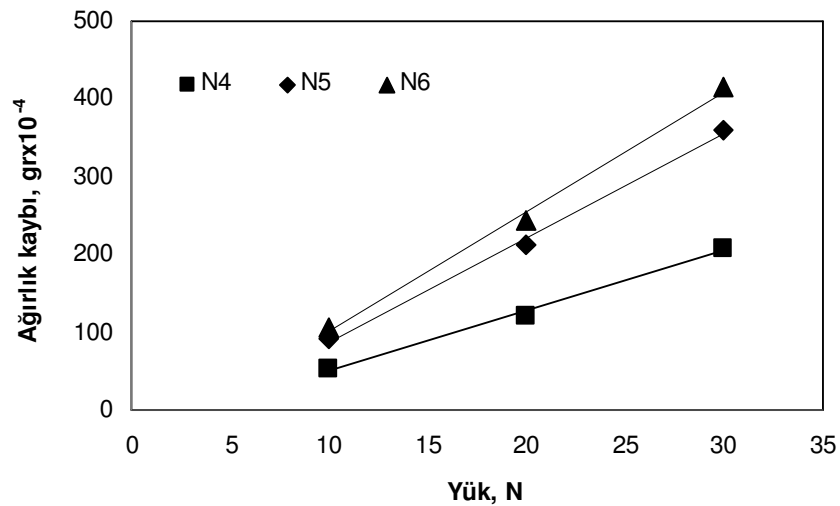
İlk dört grupta ısıtılma işlemi Mo içeren numunelerin aşınma miktarları üzerindeki etkisi görülmektedir. İkinci dört grupta ise Mo içermeyen numunelerin aşınma miktarları üzerindeki etkisi görülmektedir.

1. Grup numunelerin aşınma sonuçlarına göre en düşük ağırlık kaybı N1 numunesinden elde edilmiştir.



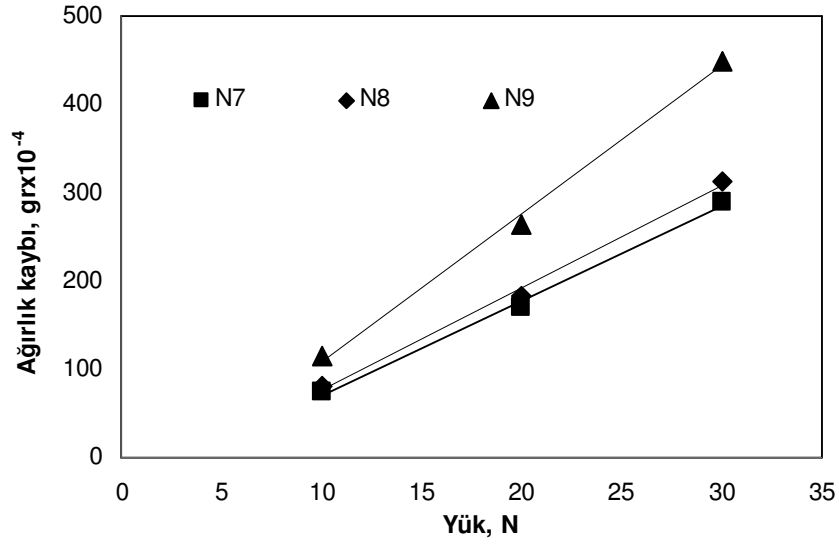
Şekil 8.26. Birinci Grup Numunelerin Yüke Göre Ağırlık Kayıplarının Karşılaştırılması.

2. grup numunelerin aşınma sonuçlarına göre en düşük ağırlık kaybı N4 numunesinden elde edilmiştir.

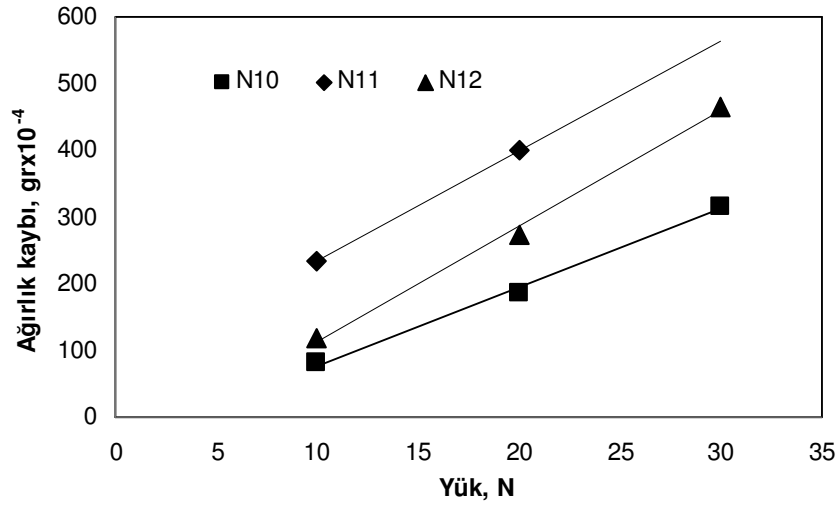


Şekil 8.27. İkinci Gurup Numunelerin Yüke Göre Ağırlık Kayıplarının Karşılaştırılmaları.

3. gurup numunelerde en düşük ağırlık kaybı N7 numunesinden elde edilmiştir.



Şekil 8.28. Üçüncü Gurup Numunelerin Yüke Göre Ağırlık Kayıplarının Karşılaştırılmaları.

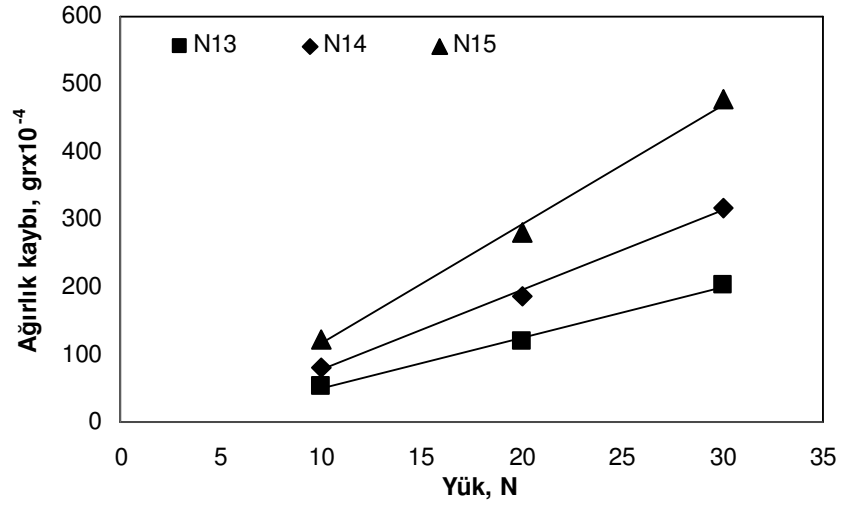


Şekil 8.29. Dördüncü Gurup Numunelerin Yüke Göre Ağırlık Kayıplarının Karşılaştırılmaları.

4. Gurup numunelerde en düşük ağırlık kaybı N10 numunesinde görülmüştür.

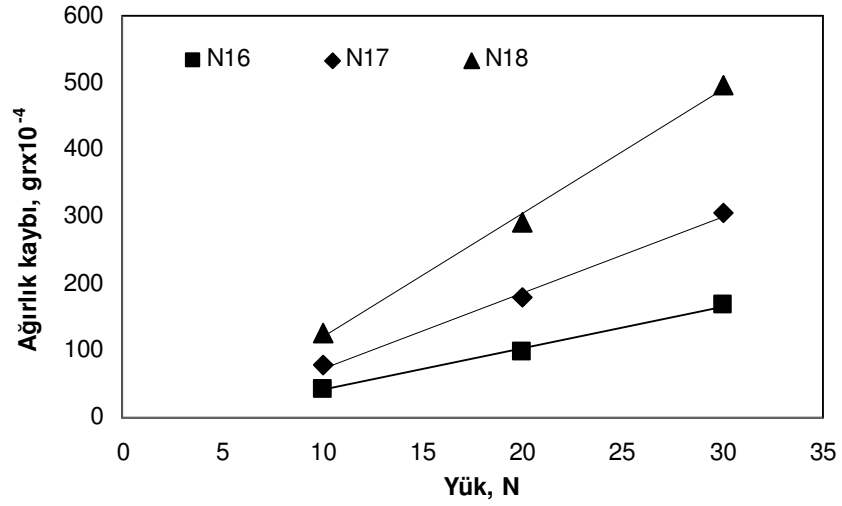
Mo içeren numuneler arasında en iyi sonucu %1 TiBaI ilave edilmiş döküm sonrası yapısının olduğu tespit edilmiştir. Bu grupta yapılan deneylerde grupların tamamında ısıtılma işlemi görmeyen döküm yapıları aşınmaya karşı en iyi sonucu vermiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da döküm sonrası yapının en iyi aşınma direnci verdiği tespit edilmiştir [5,9,11 ve 13].

Beşinci – sekizinci guruplardaki numunelere Mo ilave edilmemiştir. Testler N13-N24 numunelerine uygulanmıştır.

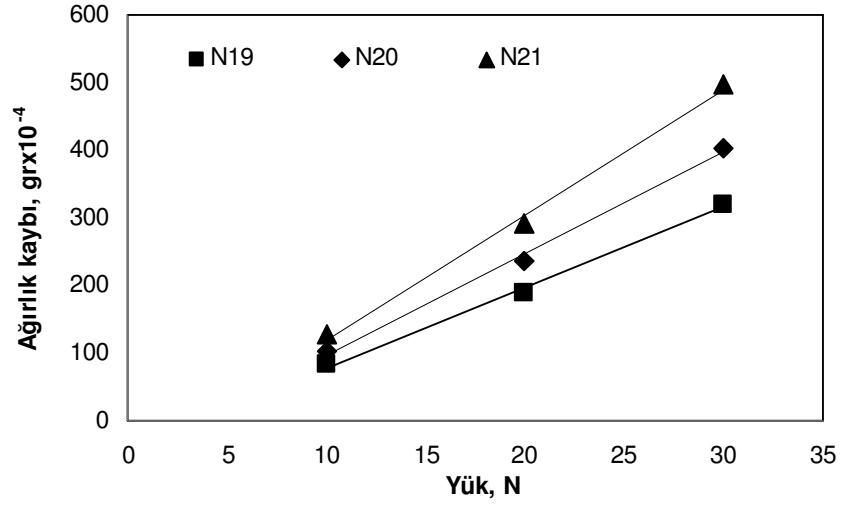


Şekil 8.30. Beşinci Grup Numunelerin Yüke Göre Ağırlık Kayıplarının Karşılaştırılmaları.

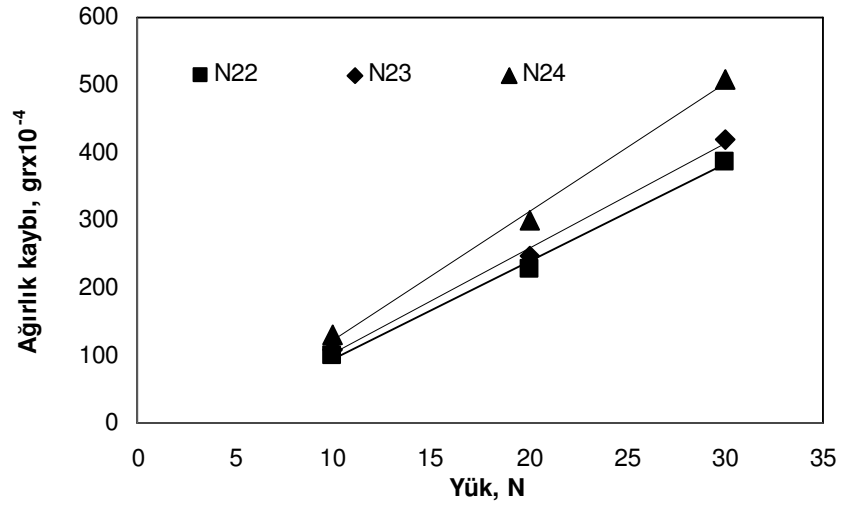
Beşinci grupta bulunan numuneler arasında en iyi aşınma direncini döküm sonrası yapıya ait numune vermiştir.



Şekil 8.31. Altıncı Grup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.



Şekil 8.32. Yedinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.



Şekil 8.33. Sekizinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.

Molibden içermeyen N13-N24 numuneleri arasında yapılan testlerde en iyi sonucu %1 TiBAI ilave edilmiş ısıtılmış ısıtılmamış N16 numunesinin verdiği tespit edilmiştir. Molibden içeren N1-N12 numuneleri arasında yapılan testler de en iyi sonucu %1 TiBAI ilave edilmiş ısıtılmış ısıtılmamış N4 numunesinin verdiği tespit edilmiştir.

Tüm numunelerin en iyi sonuçları karşılaştırıldığında en düşük ağırlık kaybı N4 numunesine ait olduğu görülmektedir.

Isıl işlem uygulanmadan %1 TiBAI ilavesi her iki kompozisyonda da en iyi sonucu vermektedir.

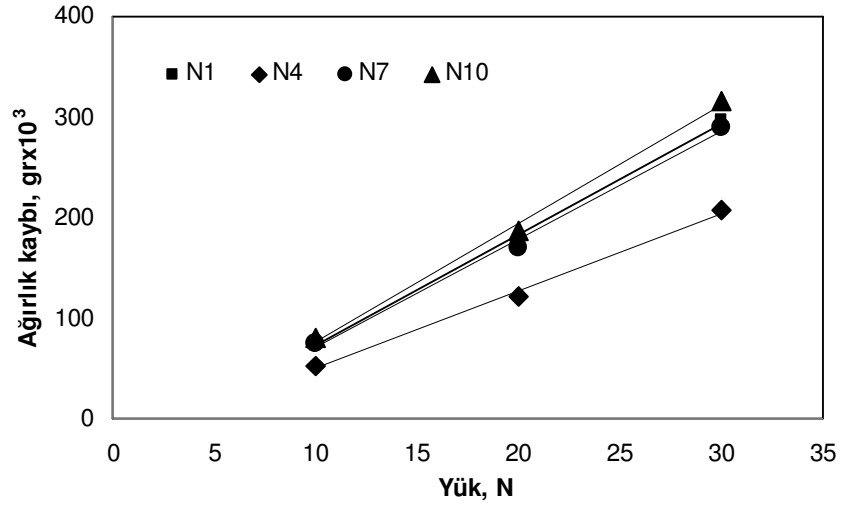
Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde yapılan çalışmaların birçoğu da döküm sonrası ısıtılmış işlem görmeyen yapının en iyi aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm sonrası mikro yapılarda birbirine yakın yerleşmiş karbürler ile matrisin desteklenmesi ve plastik deformasyon kabiliyetinin azaltılması bakımından abrasiv aşınma direnci üzerine faydalı bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

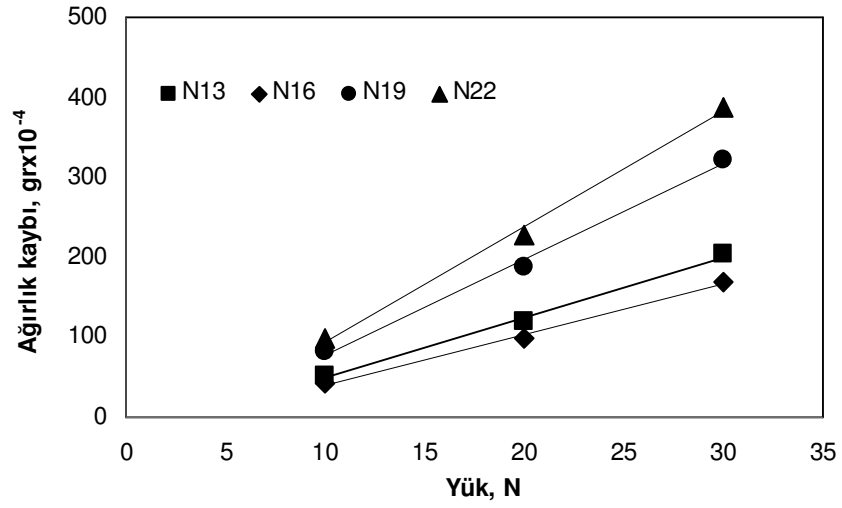
Aşınma direncini etkileyen en önemli faktörler ; kimyasal kompozisyon , uygulanan ısıtılmış işlem ve buna bağlı olarak mikro yapı, karbür matris ara yüzey bağı, matris ve karbürlerin yapı ve büyüklükleri ve aşındırıcı malzemelerin karakteristik yapısıdır.

Şekil 8.34'te TiBAI'in molibden içeren ve içermeyen numunelere etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde her iki kompozisyonda da TiBAI'in %1 ilavesi aşınma direncini artırırken %2 ve %3 TiBAI ilavesi olumsuz sonuçlar vermiştir.

Şekil 8.35'te verilen aşınma deney sonrası SEM görüntüleri da en çok aşınan N24 numunesinin yüzeyinde büyük oranda deformasyon tespit edilmiştir. N4 numunesine ait fotoğrafta ise deformasyonun çok az olduğu gözlenmiştir.



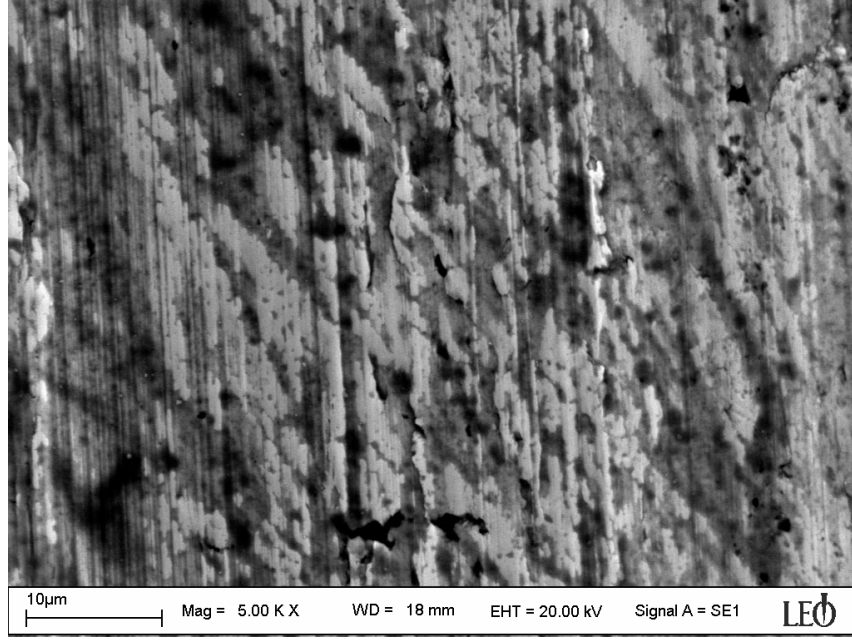
(a)



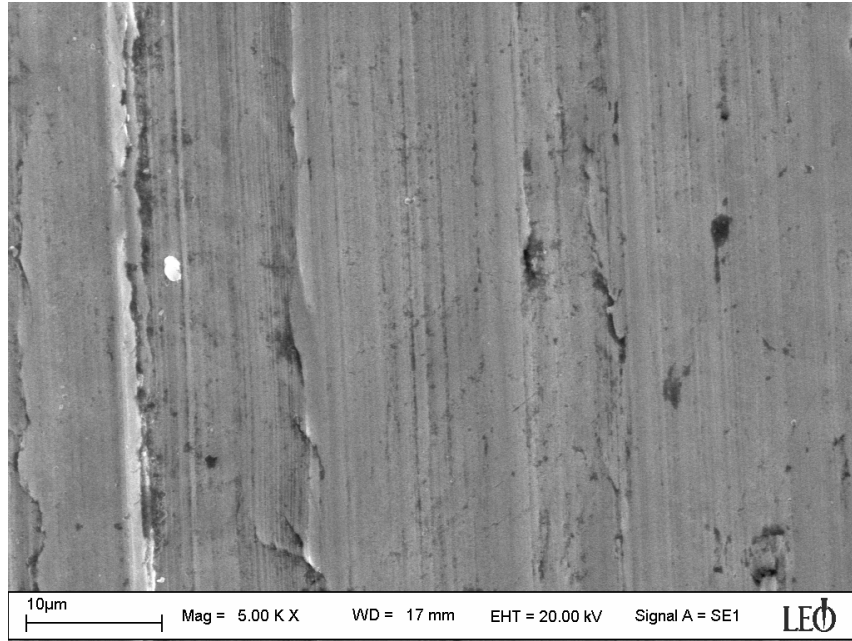
(b)

Şekil 8.34. a) TiBAL'in Molibden İçeren Numunelerin Aşınma Miktarları Üzerindeki Etkisi, b) TiBAL'in Molibdensiz Numunelerin Aşınma Miktarları Üzerindeki Etkisi.

Şekil 8.35 te aşınma deneyi uygulanmış numunelerin elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8.35. Aşınma deneyi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri. (a) N 24 (b)N4

8.4. Darbe Testi Sonuçları

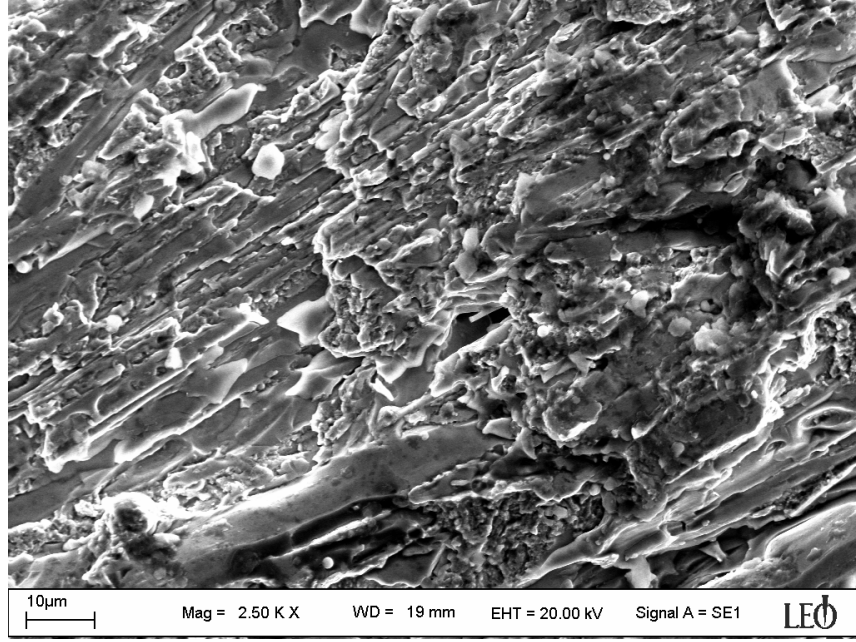
Darbe deneyi sonrası ısıtılmanın her iki grup numune için de olduğu tespit edilmiştir. Mo içeren numunelerde ısıtılma süresinin artması bu etkinin azalmasına neden olmuştur. Mo içermeyen numunelerde ise ısıtılma ve artan ısıtılma süresi ile darbe direncinde bir artış olduğu açıkça görülmektedir.

Mo içeren numunelerde TiBAI in % 1 oranında ilavesi ve 1 saatlik ısıtım işlemi en iyi sonucu verirken Mo içermeyen numunelerde TiBAI in %2 oranında ilavesi ve 2 saatlik ısıtım işlemi en iyi sonucu vermiştir. Genel olarak numunelerin darbe dirençlerinde büyük bir fark görülmemiştir. Birbirine yakın değerlerdeki ve düşük darbe direncine sahip numunelerin bu dezavantajının içerdiği C oranına bağlı olduğu düşünülmektedir.

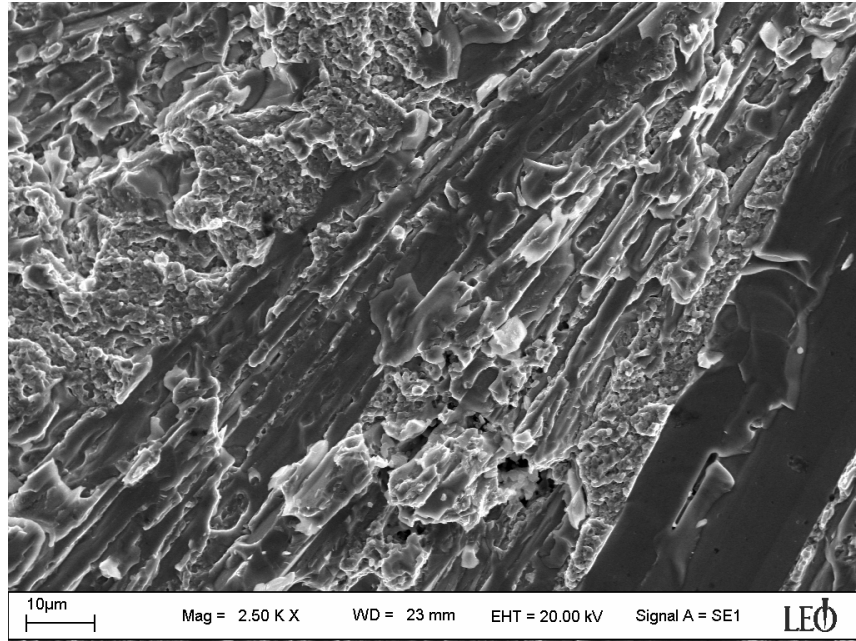
Şekil 8.36 ve 8.37 sırası ile Mo içeren ve içermeyen numunelerin en iyi ve en kötü sonuçlarının SEM ile incelenmesini göstermektedir. Aşınma görüntülerindeki deformasyona benzer bir durum darbe test görüntülerine de yansımıştır.

Tablo 8.26. Numunelerin Darbe test sonrası enerji emme özellikleri

NUMUNE	DARBE (J)
N1	11,9
N2	12,2
N3	12,6
N4	13,1
N5	13,5
N6	13,2
N7	13
N8	13,3
N9	11,7
N10	12,2
N11	12,3
N12	13,3
N13	12
N14	12,25
N15	12,8
N16	11,3
N17	11,6
N18	13,3
N19	13
N20	12,9
N21	13,5
N22	12,9
N23	13,4
N24	12,15



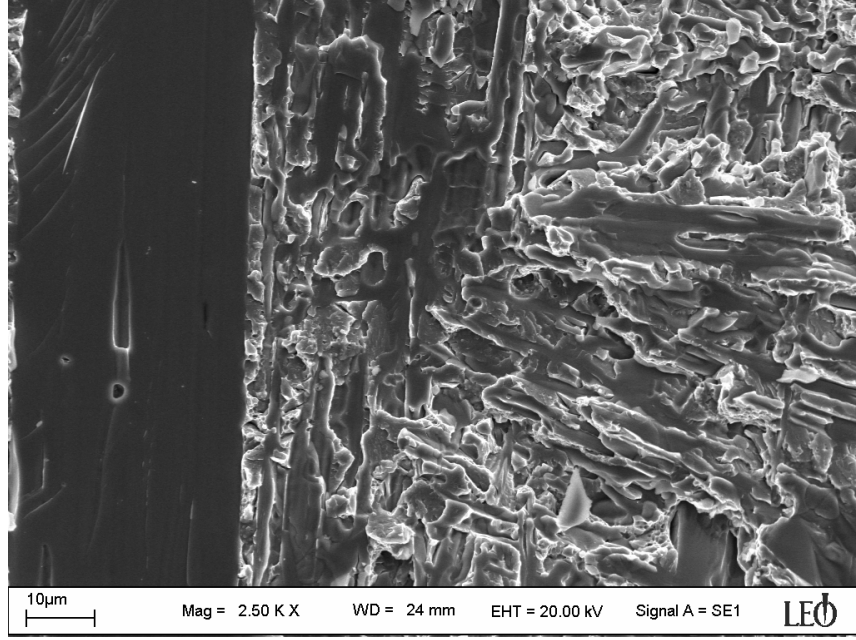
(a)



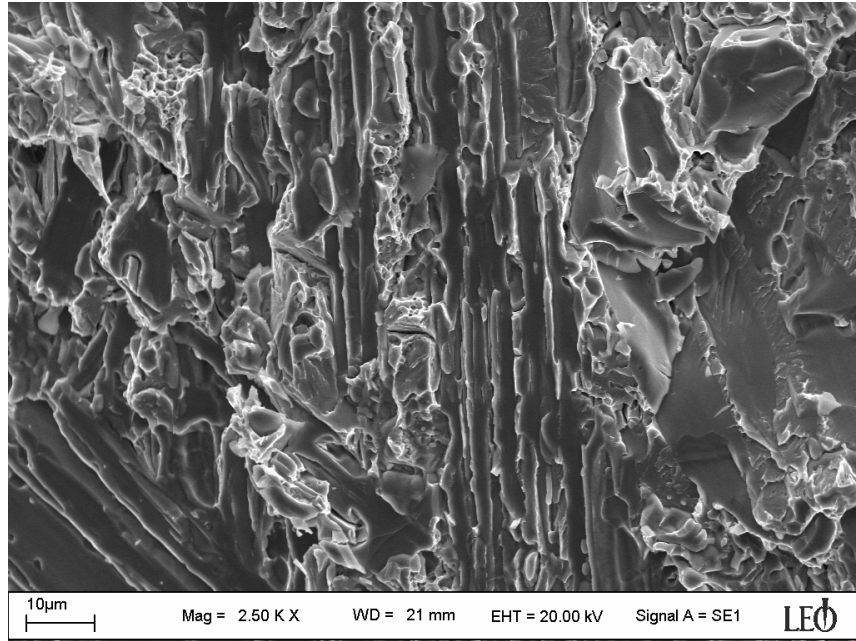
(b)

Şekil 8.36 (a) 5 nolu darbe numunesinin SEM görüntüsü

(b) 9 nolu darbe numunesinin SEM görüntüsü



(a)



(b)

Şekil 8.37 (a) N 16 numaralı darbe numunesinin SEM görüntüsü

(b) N 21 numaralı darbe numunesinin SEM görüntüsü

9. GENEL SONUÇLAR

1. Döküm sonrası Mo ilaveli ve aşılavıcı kullanılmayan numunelere ait mikro yapı kromca zengin M_7C_3 ötektik karbürler ve östenit matris içerisinde (boyutları $1\mu m$ 'nin altında) çökelmiş ikincil karbürlerden oluştuğu görülmektedir. Tüm numunelerde, döküm sonrası dentritik yapının, mikro yapıya hakim olduğu görülmektedir. Yapılan ısıt işlemler sonrası dendritik yapının bozulduğu, karbürlerin ağ yapısının kesintiye uğradığını ve birincil karbürlerin küçülüp ikincil karbürlerin büyüdüğü görülmektedir. Tüm mikroyapı incelemelerinde döküm sonrası dendritik yapının TiBAI ve ısıt işlemlerle toparlandığı tespit edilmiştir.
2. Isıt işlem ve TiBAI ilavesinin mikroyapıda benzer etkilere sahip olduğu düşünülmektedir. TiBAI ilavesi ile numunelerin tane boyutlarının küçüldüğü, dendritik yapının bozulmaya uğradığı ve karbür morfolojilerinin çubuk yapıdan hegzogonal yapıya meylettikleri düşünülmektedir. Numunelere uygulanan ısıt işlemin benzer sonuçlar verdiği mikroyapı fotoğraflarında da görülmektedir.
3. Yapılan EDS analizlerinde ısıt işlem ve TiBAI ilavesi ile matris ve karbürlerin kimyasal konsantrasyonlarının değiştiği tespit edilmiştir. Karbür ve matris analizleri incelendiğinde TiBAI oranındaki artışla yapının Cr konsantrasyonunda bir artış görülmüştür. Mikroyapıdaki değişim ile orantılı olarak TiBAI ile ısıt işlemin benzer etkiye sahip olacağı anlaşılmıştır.
4. Mikroyapıdaki kalıntı östenit oranının artması sertlikteki düşüşün temel sebebidir. Su verme sonrasındaki sertliğe karbonun yanı sıra kromda etki etmektedir. Krom miktarının artışı ile en yüksek sertliğin elde edildiği östenitleme sıcaklığı artmaktadır. Mo ilaveli numunelerin sertlikleri Mo ilavesizlere göre belirgin bir farklılık göstermektedir.
5. Molibden içermeyen N13-N24 numuneleri arasında yapılan testlerde en iyi sonucu %1 TiBAI ilave edilmiş ısıt işlemsiz N16 numunesinin verdiği tespit edilmiştir. Molibden içeren N1-N12 numuneleri arasında yapılan testlerde de en iyi sonucu %1 TiBAI ilave edilmiş ısıt işlemsiz N4 numunesinin verdiği tespit edilmiştir.
6. Aşınma test sonuçları sonrası en düşük ağırlık kaybı N4 ve N16 numunelerde görülmüştür. En çok aşınma ise N12 ve N 24 numunelerinde görülmüştür. Aşınma sonuçları ile sertlik sonuçlarının paralellik göstermediği belirlenmiştir. Isıt işlemler sonrası numunelerin sertliklerinde artış görülürken, ağırlık kayıplarında artış belirlenmiştir.
7. Mo içeren numunelerde TiBAI in % 1 oranında ilavesi ve 1 saatlik ısıt işlem en iyi sonucu verirken Mo içermeyen numunelerde TiBAI in %2 oranında ilavesi ve 2 saatlik ısıt işlem en iyi sonucu vermiştir. Genel olarak numunelerin darbe dirençlerinde büyük bir fark görülmemiştir. Birbirine yakın değerlerdeki ve düşük darbe direncine sahip numunelerin bu dezavantajının içerdiği C oranına bağlı olduğu düşünülmektedir.

10. KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan M. 2000 Mühendislik Alaşımları Yapı ve Özellikleri . Nobel Yayın Dağıtım, Ankara 1-58s.
- [2] Çiğdemoglu M. (1968) Pik ve Çelikte Alaşım Elemanları İTÜ Yayınları İstanbul, 64 s.
- [3] Geçkinli E. (1989) Metalografi Kısım I. İTÜ Yayınları İstanbul, 43s.
- [4] Çimenoglu H, Geçkinli E, Baydoğan M, Yıldırım S. (2001) Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi (TMMOB). Ankara , 53 s.
- [5] Arıkan M.M. (1999) Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncini alaşım elementlerinin ve ısıtılmanın etkisi. Doktora Tezi , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü , 1-45 s.
- [6] Fairhurst, W., Röhring, K., 1974. Abrasion-resistant high chromium white cast irons.
- [7] Metals Handbook, 1988. 9th Ed, 15, Lasting, ASM.
- [8] Metals Handbook, 1988.10th Ed., 1, Properties and Selection, ASM.
- [9] İzçiler M. (1997) Yüksek krom alaşımlı dökme demirlerin farklı sıcaklıktaki abrasiv aşınma davranışına alaşım katkı oranının ve ısıtılma şartlarının etkileri. Doktora Tezi. Fırat Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.1-50 s.
- [10]Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook George Larid, Richard Gundlach, Klaus Röhring.
- [11] Akdemir Ö. (1994) Alaşımlı beyaz dökme demirlerin mikro yapı analizi ve aşınma özellikleri. Y.L. Tezi. 1-58. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] Güler Ö.(2003) Beyaz dökme demire alaşım elementlerinin etkisi. Lisans Tezi. 1-33. Fırat Ü. Metalurji ve Malzeme M.
- [13] Kerküt E.(2004)Yüksek kromlu beyaz dökme demirin iç yapı ve aşınma direncine östenitleme sıcaklığının ve süresinin etkisi. Lisans Tezi.1-43.Fırat Ü.Metalurji ve M. M. [14]A.H. Kasama, A.J. Mourisco, C.S. Kiminami, W.J. Botta F o , C. Bolfarini, 2003, Microstructure and wear resistance of spray formed high chromium white cast iron. Material Science and En Engineering 589-594s.
- [15] Yasuhiro Matsubara, Nobuya Sasaguri , Kazumichi Shimizu, Sung and Kon Yu 2001. Solidification and abrasion wear of white cast irons alloyed with 20% carbide forming elements. Wear 502-510 s.
- [16] J. A. Pero-Sanz,D. Plaza, J. I. Verdeja, and J2001. Asensio. Metallographic Characterization of Hypoeutectic Martensitic White Cast Irons: Fe-C-Cr System 33-39s.
- [17] M.M. Arıkan, H. Çimenoglu, E.S. Kayalı 2001. The effect of titanium on the abrasion resistance of 15Cr–3Mo white cast iron. Wear 231-235 s.
- [18] Hua-Nan Liu , Michiru Sakamoto ., Mikio Nomura , Keisaku Ogi 2001. Abrasion resistance of high Cr cast irons at an elevated temperature. Wear 71-75
- [19] S.G. Sapate ., A.V. Rama Rao 2002. Effect of carbide volume fraction on erosive wear behaviour of hardfacing cast irons.Wear 278-282
- [20] S.G. Sapate a , A.V. Rama Raob 1999, Erosive wear behaviour of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles. Wear 441-447 s.
- [21] Liming Lu , Hiroshi Soda, Alexander McLean 2000. Microstructure and mechanical properties of Fe_Cr_C eutectic composites. Wear 32-38 s.

- [22] E. Albertin, A. Sinatora 2001. Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill. *Wear*, 492-501 s.
- [23] M. Izciler, H. Çelik Two- and three-body abrasive wear behaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls.
- [24] Michiru Sakamoto, Hua-Nan Liu , Mikio Nomura, Keisaku Ogi, Tribological stability of Al₂O₃ short fiber reinforced high Cr cast irons *Wear* 294-298 s.
- [25] Janina M. Radzikowska 2005. Effect of specimen preparation on evaluation of cast iron microstructures. *Materials Characterization* 287-304.
- [26] A. Bedolla-Jacuinde , R. Correa, J.G. Quezada, C. Maldonado 2005. Effect of titanium on the as-cast microstructure of a 16%chromium white iron. *Material Science and En Engineering* 297-308 s.
- [27] Hans Berns 2003. Comparison of wear resistant MMC and white cast iron. *Wear* 47-54.
- [28] A.H. Kasama, A.J. Mourisco, C.S. Kiminami, W.J. Botta Fo, C. Bolfarini 2004. Microstructure and wear resistance of spray formed high chromium white cast iron. *Science and En Engineering* 589-594 s.
- [29] Zhiping Suna, Rulin Zuob, Cong Lic, Baoluo Shena, Jing Yana, Sijiu Huangd 2001 TEM study on precipitation and transformation of secondary carbides in 16Cr–1Mo–1Cu white iron subjected to subcritical treatment. *Wear* 239-243 s.
- [30] Minkoff, I. *Physical Metallurgy of cast iron*.
- [31] Mataray, F., Usseglio Nanot, R., 1970 Factors effecting the structure of chromium-molibdenium white irons. *Wear* 203-208.
- [32] Pearce, J.T.H., 1984. *AFS Transactions*.

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1980 yılında Adana’da doğdu. 1997 yılında Adana Anafartalar Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2004 yılında mezun olarak tamamladı. 2004 yılından beri F.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Yüksek Lisans eğitimine devam etmekte. 2005 yılında Adana Çedaş Çelik Dökümde imalat sorumlusu olarak iş hayatına atıldı. 2006 yılında Elazığ Mastar Metalurji A.Ş.’nin kurulumunda görev aldı. Halen aynı şirkette çalışmaya devam etmektedir.